

**VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra telekomunikační techniky**

**Dálkový příjem signálu pozemního digitálního televizního vysílání
Long Distance Reception of Terrestrial Digital Television
Broadcasting**

2014

Bc. Petr Deutsch

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra telekomunikační techniky

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Petr Deutsch**
Studijní program: N2647 Informační a komunikační technologie
Studijní obor: 2601T013 Telekomunikační technika
Téma: **Dálkový příjem signálu pozemního digitálního televizního vysílání**
Long Distance Reception of Terrestrial Digital Television Broadcasting

Zásady pro vypracování:

1. Popis možností příjmu zahraničního vysílání DVB-T na území ČR.
2. Problematika dálkového příjmu signálu DVB-T.
3. Měření kvality dálkového příjmu DVB-T ve vytypovaných oblastech.
4. Vyhodnocení naměřených výsledků.

Seznam doporučené odborné literatury:

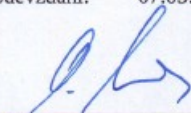
Legiň, M.: Televizní technika DVB-T, BEN, 2006, ISBN 80-7300-204-3

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

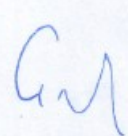
Vedoucí diplomové práce: **Ing. Roman Šebesta, Ph.D.**

Datum zadání: 01.09.2013

Datum odevzdání: 07.05.2014


doc. Ing. Miroslav Vozňák, Ph.D.
vedoucí katedry




prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

Dne: 2. 5. 2014



Podpis

Poděkování

Rád bych poděkoval *Ing. Romanu Šebestovi Ph.D.* za odbornou pomoc a konzultaci při vytváření této diplomové práce.

Abstrakt

Cílem této diplomové práce je popsat, jak ovlivní inverzní počasí příjem DVB-T. Dále na vytypovaném místě změřit vysílače DVB-T za normálního počasí a tyto naměřené hodnoty porovnat s hodnotami naměřenými při inverzi. Práce je rozdělena do čtyř kapitol.

V první kapitole je popsána samotná technologie DVB-T a možný příjem DVB-T ze zahraničí na území ČR.

V kapitole druhé je rozebráno, jak se šíří vlny v pásmech VHF a UHF, tedy v pásmech, ve kterých DVB-T pracuje, a jaký vliv má na toto šíření inverzní počasí.

Třetí kapitola obsahuje popis měřených parametrů, použitého měřicího přístroje, přijmových antén a měřených vysílačů.

V poslední čtvrté kapitole jsou vloženy a vyhodnoceny naměřené výsledky.

Klíčová slova

DVB-T, inverzní počasí, šíření vln VHF a UHF, pozemní digitální televize, dálkový příjem, vysílač.

Abstract

The aim of this diploma thesis is to describe how inversion weather affects reception of DVB-T signal. Next step is in some place makes a measurement of DVB-T transmitters in normal and inversion weather and compare the results from those different weathers. This thesis is divided into four main parts.

In the first part is described the DVB-T technology and possible receptions of DVB-T signal from abroad on the ČR territory.

In the second chapter is explained how VHF and UHF waves are spreading and how an inversion weather has an influence on this wave spreadings.

The third chapter deals with the description of the measurement parameters, used measuring device, reception antennas and measuring transmitters.

In the last fourth chapter are inserted and evaluated measurement results.

Key words

DVB-T, inversion weather, spreading of VHF and UHF waves, digital terrestrial television, long distance reception, transmitter.

Seznam použitých symbolů

Symbol	Jednotky	Význam symbolu
°C	-	Stupně Celsia
λ	m	Vlnová délka
BER	-	Bitová chybovost
C/N	dB	Odstup signálu od šumu
CBER	-	Kanálová bitová chybovost
d	m	Délka/průměr
D_{ef}	km	Efektivní poloměr Země
F	Hz	Frekvence
H	-	Horizontální polarizace
MER	dB	Modulační chybovost
n	-	Index lomu
p	Pa	Tlak
P	W	Výkon
U	V	Napětí
V	-	Vertikální polarizace
VBER	-	Viterbiho bitová chybovost

Seznam použitých zkratek

Zkratka	Anglický význam	Český význam
BER	Bit Error Rate	Bitová chybovost
BCH	Bose Chaudhuri-Hocquenghama	Bose Chaudhuri-Hocquenghama
C/N	Carrier-to-Noise	Odstup signálu od šumu
CBER	Channel Bit Error Rate	Kanálová bitová chybovost
COFDM	Coded OFDM	Kódovaný OFDM
DVB	Digital Video Broadcasting	Digitální televizní vysílání
DVB-C	Digital Video Broadcasting - Cable	Kabelové digitální televizní vysílání
DVB-H	Digital Video Broadcasting - Handle	Mobilní digitální televizní vysílání
DVB-S	Digital Video Broadcasting - Satellite	Satelitní digitální televizní vysílání
DVB-T	Digital Video Broadcasting - Terrestrial	Pozemní digitální televizní vysílání
EHF	Extremely High Frequency	Milimetrové vlny
FEC	Forward Error Correction	Dopředná chybová korekce
GPS	Global Position System	Globální družicový poziční systém
HD	High Definition	Vysoké rozlišení
HDTV	High Definition Television	TV s vysokým rozlišením
HF	High Frequency	Krátké vlny
LDPC	Low Density Parity Check	Kontrola parity s nízkou hustotou
LF	Low Frequency	Dlouhé vlny
LTE	Long Term Evolution	Mobilní technologie 4. generace

LUF	Lowest Usable Frequency	Nejnižší použitelná frekvence
MER	Modulation Error Rate	Modulační chybovost
MF	Medium Frequency	Střední vlny
MIP	Mega Initialization Packet	Inicializační paket
MPEG	Motion Picture Experts Group	Standard pro kompresi video
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplex	Ortogonální frekvenční multiplex
PLP	Physical Layer Pipes	Kanál fyzické vrstvy
QAM	Quadrature Amplitude Modulation	Kvadraturní amplitudová modulace
QPSK	Quadrature Phase Shift Keying	Kvadraturní fázová modulace
SDI	Serial Digital Interface	Studiový digitální tok
SDTV	Standard Definition Television	Standardní TV rozlišení
SFN	Single Frequency Network	Jedno-frekvenční síť
SHF	Super High Frequency	Centimetrové vlny
TDM	Time Division Multiplex	Časový multiplex
UHF	Ultra High Frequency	Ultra krátké vlny
VBER	Viterbi Bit Error Rate	Viterbiho bitová chybovost
VHF	Very High Frequency	Velmi krátké vlny
VLF	Very Low Frequency	Velmi dlouhé vlny

Obsah

Úvod	1
1 Popis možností příjmu zahraničního vysílání DVB-T na území ČR	2
1.1 Charakteristika DVB-T	2
1.2 Sítě SFN	6
1.3 LTE a vzájemné rušení s DVB-T	7
1.4 DVB-T2	7
1.5 Odlišnosti DVB-T2 od DVB-T	8
1.6 Příjem DVB-T ze sousedních států	9
1.7 Příjem signálu DVB-T ze zahraničí za inverze	12
2 Problematika dálkového příjmu signálu DVB-T	14
2.1 Rozdělení kmitočtového pásma	14
2.2 Šíření elektromagnetických vln	14
2.2.1 Volba polarizace	17
2.2.2 Šíření vln VHF a UHF	17
2.2.3 Šíření troposférou	18
2.2.4 Povrchová (přízemní) vlna	18
2.2.5 Přímá vlna	19
2.2.6 Prostorová vlna	21
2.3 Inverze	24
2.3.1 Inverze a její vznik	24
2.3.2 Přízemní inverze	25
2.3.3 Výšková inverze	26
2.4 Účinky inverzí na šíření vlnění	26
2.5 Šíření ve vlnovodech	28
3 Měření kvality dálkového příjmu DVB-T ve vytypovaných oblastech	30
3.1 Měřené parametry	30

3.1.1	Úroveň signálu.....	30
3.1.2	C/N	30
3.1.3	BER	30
3.1.4	CBER.....	31
3.1.5	VBER	31
3.1.6	MER	31
3.2	Měření signálu DVB-T.....	31
4	Vyhodnocení naměřených výsledků.....	38
4.1	Vysílače do 100 km vzdálenosti od měřeného místa	38
4.2	Vysílače nad 100 km vzdálenosti od měřeného místa.....	44
4.3	Vysílače v nadmořské výšce větší než 800 m n. m.	47
	Závěr.....	52
	Použitá literatura	54
	Seznam obrázků	I
	Seznam tabulek	II
	Seznam příloh.....	III
	Příloha A	IV
	Příloha B.....	XVI
	Příloha C.....	XVII
	Příloha D	XXIV
	Příloha E.....	XXVI
	Příloha F	XXVIII
	Příloha G	XXIX

Úvod

Proces nahrazování analogového televizního vysílání digitálním televizním vysíláním DVB-T je již v mnoha státech ukončen. V České republice byl proces digitalizace ukončen v roce 2011, kdy byly vypnuty i poslední analogové vysílače.

Digitální televizní vysílání má oproti analogovému tu výhodu, že prakticky po celou vzdálenost od vysílače je příjem silný a stabilní a lze na jednom kanále přenést větší množství dat díky multiplexování. Další výhodou jsou sítě SFN, díky kterým lze DVB-T přijímat prakticky na kterémkoliv místě ve velkých městech, i mimo ně, s téměř 100% čistým příjmem. U analogového vysílání toto není možné. Analogové vysílání mělo před digitálním jednu výhodu, a to, že příjem byl možný na delší vzdálenost, ale se vzrůstající vzdáleností se kvalita zmenšovala.

DVB-T pracuje v pásmech UHF a VHF. Šíření vln v těchto pásmech ale výrazně ovlivňuje počasí, jako je déšť nebo sněhové vločky, kdy se příjem zhoršuje. Jsou ale i případy, kdy se naopak příjem digitální televize velice zlepšuje. Toto zlepšení příjmu je možné až do takové míry, že např. regionální vysílání lze zachytit i stovky, někdy i tisíce kilometrů, od místa vysílání. Tento dálkový příjem, kterým se tato práce zabývá, je možný díky inverznímu rázu počasí. Po celém světě jsou lidé, kteří si říkají „*Lovci signálů*“ a snaží se tyto dálkové příjmy zachytit.

V inverzních dnech se tak lze dívat na zahraniční televize i z velice vzdálených států. Nebo také naopak může tento dálkový příjem rušit místní televizi, když je přijímaný dálkový signál vysílán na stejném kanále.

1 Popis možností příjmu zahraničního vysílání DVB-T na území ČR

1.1 Charakteristika DVB-T

DVB-T je součástí konsorcia standardů digitálního televizního vysílání DVB (Digital Video Broadcasting). V digitální formě se zde přenáší komprimované video, audio a další data ve formátu pro kompresi videa MPEG (Motion Picture Experts Group). DVB standard obsahuje čtyři verze [1]:

- DVB-T, které představuje šíření pozemního (terrestrial) digitální signálu,
- DVB-C představuje šíření digitálního signálu prostřednictvím kabelové televize (cable),
- DVB-S slouží pro družicové digitální šíření signálu,
- DVB-H je šíření digitálního signálu pro mobilní telefony (handle).

Všechny tyto typy se od sebe odlišují jiným druhem modulace.

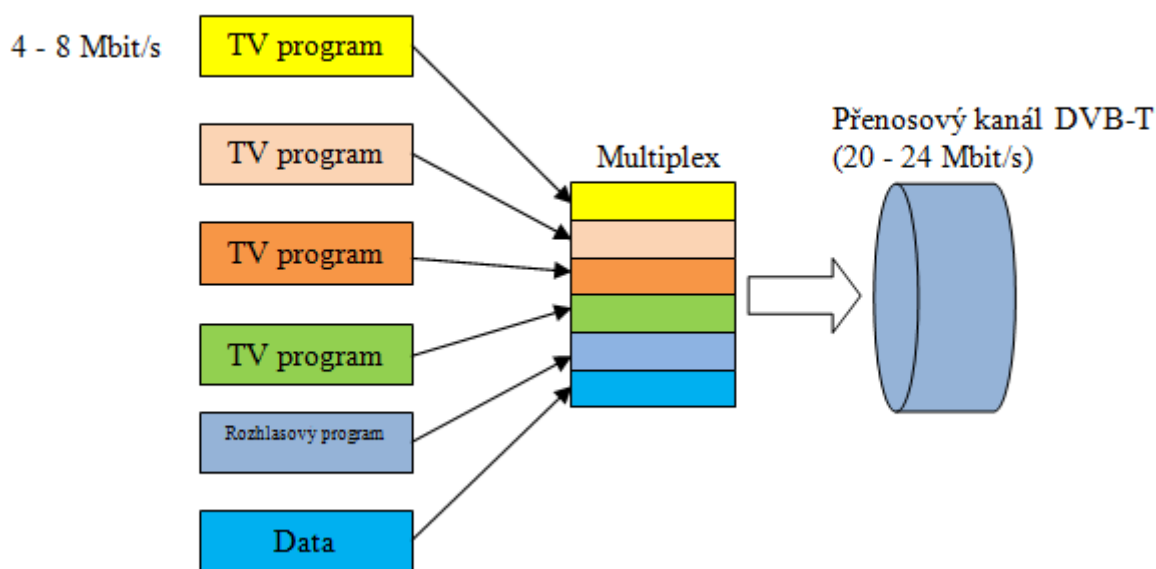
Hlavní výhodou systému DVB je, že dokáže najednou pojmout několik televizních programů v jednom jediném přenosovém kanálu, který je označen jako multiplex. [1]

Digitální pozemní televizní vysílání DVB-T (Digital Video Broadcasting – Terrestrial) je vysílání, které se šíří podobně jako analogový signál z pozemních televizních vysílačů na přijímací anténu. [1]

Zpracování vysílací části DVB-T probíhá snímáním obrazu a zvuku, kdy probíhá vzorkování původního audiovizuálního signálu a zde je každému vzorku přiřazena určitá hodnota - kvantování. Ale protože je množství dat příliš velké (obvykle je tímto zdrojem televizní studio) na to, aby jej bylo možné přenést v jednom kanále s obvyklou šířkou pásma 8 MHz, je nutné tato data komprimovat. Přenosová rychlost digitálního obrazu ve studiovém formátu SDI (Serial Digital Interface) je zhruba 270 Mbit/s. Komprimace provede redukci bitové rychlosti tak, aby se pohybovala v rozmezí 4 až 8 Mbit/s na jeden televizní program ve standardním rozlišení 720x576 obrazových bodů s 25 snímků/s a 16 bity na obrazový bod. U systému DVB-T se tato komprimace provádí díky formátu MPEG2. U tohoto druhu komprimace nelze už nikdy zcela zrekonstruovat původní obrazový signál. Jedná se tedy o ztrátovou kompresi. Tato komprese nám zmenší nadbytečnost počtu bitů z původního datového toku na 4 - 8 Mbit/s. [1]

Formát MPEG2 byl vybrán kvůli své flexibilitě. Komprimován je také zvuk, pro který byl původně uvažován formát MPEG 1 resp. MPEG2, ale postupem času se pro vícekanalový zvukový doprovod začal používat Dolby Digital.

Jak bylo již zmíněno, multiplex představuje soubor datových toků pro obrazovou, zvukovou a někdy i rozhlasovou část a k tomu i přibalené doplňkové služby. Těmito službami mohou být např. informace o programu, který poskytuje teletext, ale v dnešní době hlavně aktualizací soubory pro Set Top Boxy. Přenosový kanál, tedy multiplex, obsahuje zpravidla 4 - 6 televizních programů. Množství těchto programů záleží na požadované kvalitě jednotlivých programů. Protože na přenos mohou působit různé rušivé vlivy, je nutné tento přenos zabezpečit proti chybám. Je zde tedy použito obecné zabezpečení, doplněné o přídavné zabezpečení datového toku vnitřním konvolučním ochranným kódováním s dopřednou chybovou korekcí FEC2 (Forward Error Correction) s tzv. prokládacím stupněm pro zvýšení odolnosti proti koncentrovanému shluku chyb. Datová propustnost systému DVB-T se pohybuje v rozmezí 20 až 24 Mbit/s. Na následujícím obrázku 1.1 je vidět proces multiplexace. [1]



Obrázek 1.1 Proces multiplexování (zjednodušeně)

U DVB-T je každý multiplex vysílán ze všech vysílačů pouze na jednom kanále a je tedy nutné na něm ještě provést modulaci. U DVB-T se využívá nejčastěji modulace kvadrurní amplitudové modulace QAM64 (Quadrature Amplitude Modulation), kdy je možné najednou přenést 6 bitů. Při použití této modulace se dále využívá principu ortogonálního frekvenčního multiplexu OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplex), která dosahuje velkého počtu rovnoměrně rozmístěných dílčích subnosných kmitočtů. Tím dochází v podstatě k velké úspoře kmitočtového pásma. Na přijímací anténu tedy dopadá signál jednoho multiplexu z více směrů a od různých vysílačů. Přijímá-li anténa z více směrů, všechny signály se na anténě sčítají. U systému DVB-T je v České republice použito pro přenos zabezpečeného transportního multiplexu celkem 6817

subnosných vln, s označením módu 8k. Z této hodnoty je ale potřeba odečíst 769 referenčních subnosných vln, které slouží ke vzorkování kanálů. [1]

Systém DVB-T poskytuje celou řadu variant. Základní dělení je dané počtem nosných kmitočtů v rámci multiplexu COFDM:

- systém 2k s 1705 nosnými v jediném multiplexu s šířkou pásma 8 MHz,
- systém 4k s 3409 nosnými v jediném multiplexu s šířkou pásma 8 MHz (především pro DVB-H),
- systém 8k s 6817 nosnými v jediném multiplexu s šířkou pásma 8 MHz.

Existují i další varianty, které se liší způsobem modulace, kdy je možné transportní multiplex modulovat metodami kvadrurní fázové modulace QPSK (Quadrature Phase Shift Keying) nebo kvadrurní amplitudové modulace QAM (Quadrature Amplitude Modulation). U modulace QAM je dále možné zvolit dva různé stavy - 16 nebo 64. Dále je u těchto modulací možné zvolit kódový poměr pomocí konvolučního kódování FEC pro 1/2, 2/3, 3/4, 5/6 nebo 7/8 v kombinaci s ochranným intervalem 1/4, 1/8, 1/16 nebo 1/32. Pokud tedy potřebujeme měnit počet programů v multiplexu, využijeme těchto kombinací a změníme rychlost bitového přenosu od 4,98 Mbit/s do 31,67 Mbit/s. Následující tabulka 1.1 zobrazuje různé varianty přenosu signálu DVB-T v módu 8k a výslednou přenosovou rychlost.

Tabulka 1.1 Bitová rychlost v módu 8k v závislosti na variantě přenosu signálu

Varianta systému	Modulace	Kódový poměr	Čistá bitová rychlost [Mbit/s] v daném ochranném intervalu			
			1/4	1/8	1/16	1/32
A1	QPSK	1/2	4,98	5,53	5,85	6,03
A2	QPSK	2/3	6,64	7,37	7,81	8,04
A3	QPSK	3/4	7,46	8,29	8,78	9,05
A5	QPSK	5/6	8,29	9,22	9,76	10,05
A7	QPSK	7/8	8,71	9,68	10,25	10,56
B1	16QAM	1/2	9,95	11,06	11,71	12,06
B2	16QAM	2/3	13,27	14,75	15,61	16,09
B3	16QAM	3/4	14,93	16,59	17,56	18,1
B5	16QAM	5/6	16,59	18,43	19,52	20,11
B7	16QAM	7/8	17,42	19,35	20,49	21,11
C1	64QAM	1/2	14,93	16,59	17,56	18,1
C2	64QAM	2/3	19,91	22,12	23,42	24,13
C3	64QAM	3/4	22,39	24,88	26,35	27,14
C5	64QAM	5/6	24,88	27,65	29,27	30,16
C7	64QAM	7/8	26,13	29,03	30,74	31,67

Varianta C2: Tato varianta je vhodná pro přenos čtyř TV programů v jednom multiplexu a je to také varianta nejvíce využívaná v ČR s ochranným intervalem 1/4. V tabulce 1.1 je tato varianta zvýrazněna. Celková rychlost datového toku je zde 19,91 Mbit/s a při vysílání čtyř TV programů připadá na jeden TV program rychlost 4,6 Mbit/s.

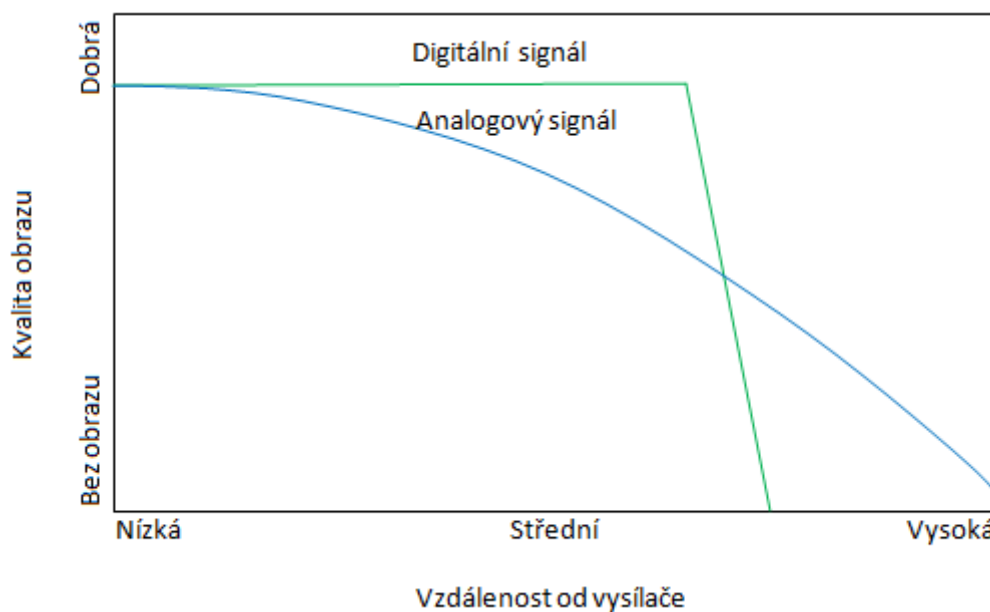
Systém DVB-T umožňuje současně přenášet jednu modulaci v druhé, např. QPSK v 64QAM. Tento způsob modulace je označován jako hierarchická modulace. Hierarchický přenos umožňuje, aby z určitého balíku programů byly programy vysílány sice s různou přenosovou bitovou rychlostí ale o to robustněji. [1]

Abychom mohli toto vysílání přijímat, musíme mít vhodnou televizní anténu. Dále je však potřeba vlastnit přístroj zvaný Set Top Box, který má vlastní tuner, demodulátor, demultiplexor a dekodér MPEG2 (MPEG4) a D/A převodník.

Pro digitální TV vysílání se využívají stávající TV pásma. Jde o III. TV pásmo velmi krátkých vln VHF (Very High Frequency) v kmitočtovém rozsahu 174 – 230 MHz, IV. a V. TV pásmo v kmitočtovém rozsahu 470 – 862 MHz. Šířka kanálu se v porovnání s analogovým vysíláním nemění. Zůstává na 6, 7 nebo 8 MHz. [1]

Výhody a nevýhody digitálního televizního vysílání

Digitální zpracování obrazových a zvukových signálů má řadu výhod i nevýhod. Výhodou je zejména vyšší odolnost vůči zkreslení a rušení, nižší odstup signálu od šumu a efektivnější využití kmitočtového spektra vlivem možnosti budování jedno-frekvenčních sítí SFN (Single Frequency Network). Dále díky multiplexování navýšení počtu programů, zvýšení kvality obrazu a zvuku a poskytování doplňkových služeb. Na obrázku 1.2 lze vidět porovnání kvality obrazu digitálního a analogového signálu v závislosti na vzdálenosti od vysílače. Z tohoto obrázku vyplývá, že kvalita obrazu DVB-T zůstává do určité vzdálenosti stejná, a pak rapidně klesá. Kdežto u analogového vysílání kvalita obrazu pomalu klesá, ale dosáhne větší vzdálenosti. Nevýhodou DVB-T je pro diváky nutnost investování do digitálních přijímačů (tzv. Set Top Boxy), pro programové společnosti nutnost investice do vybavení studií a pro provozovatele vysílacích sítí získání dostatečných investic na vybudování vysílací sítě. [1]



Obrázek 1.2 Charakter šíření signálu digitální a analogové TV

1.2 Sítě SFN

Síť SFN (Single Frequency Network) je síť vysílačů DVB-T, které vysílají na stejném kmitočtu, překrývají se a vzájemně se neruší. Na Ostravsku tato síť vysílá na kanálu 54. Sítě SFN jsou velkou výhodou DVB-T oproti analogovému vysílání. Při překrytí dvou a více analogových vysílačů pracujících na stejné frekvenci dochází ke vzájemnému rušení, kdežto u systému DVB-T tomu tak není. Signál DVB-T je totiž odolný vůči odrazům od terénních překážek díky ochrannému intervalu. Při správné synchronizaci je tedy možné zajistit současné a navzájem nerušené šíření signálu z více vysílačů. Ochranný interval zajišťuje upřednostňování přímého signálu a odražené a opožděné signály absorbuje a potlačuje. Velikost ochranného intervalu se v těchto sítích volí dle vzdálenosti sousedního DVB-T vysílače a je udávána jako konstanta, např. 1/8. [1]

K signálu se také přidává značka MIP (Mega Initialization Packet), která obsahuje synchronizační údaj z globálního družicového pozičního systému GPS (Global Position System). Tato značka je přenášena přes distribuční síť k jednotlivým DVB-T vysílačům. Na každém vysílači síť SFN je nainstalován přijímač GPS a dle jeho časového údaje a značky MIP se synchronizačním údajem GPS je signál synchronizován a následovně odvysílán. Pokud by tato synchronizace nenastala, stala by se z toho vysílače rušička. [1]

Více o sítích SFN a celé technologii DVB-T je možné si vyhledat v [1], [2], [28], [29], [30].

1.3 LTE a vzájemné rušení s DVB-T

LTE (Long Term Evolution) je technologie mobilní sítě 4. generace, která přináší vyšší přenosové rychlosti a kratší odezvu. LTE umožní přenosové rychlosti až 100 Mb/s. Hrozí zde ale, že technologie LTE se bude vzájemně rušit se stávající pozemní digitální televizí. LTE pracuje v okolí kmitočtů 800, 1800, 2600 MHz. Jelikož DVB-T také pracuje v okolí pásma 800 MHz, hrozí rušení televizních kanálů 59 a 60. Nejvíce rušen má být kanál 60 s multiplexem 3, který celoplošně vysílají tři hlavní vysílače: Černá hora na Trutnovsku, Ještěd na Liberecku a Tři Kříže v Karlových Varech. ČTU od prosince 2013 toto případné vzájemné rušení testuje se standardy DVB-T a DVB-T2, jako nástupnický standard. Sítě LTE budou jistě realizovány a je nutné provést řádné testy v rámci výstavby těchto sítí a také vyřešit konkrétní opatření, jako je např. přenést kanály 59 a 60 na jiný kmitočet. Koexistence datových a vysílacích sítí není jednoduchá a musí se vyřešit, protože současným sítím DVB-T do deseti let skončí přiděly kmitočtových pásem. Testování vzájemného rušení probíhá hlavně na kanálech 59 a 60. Po spuštění LTE je DVB-T ohroženo, protože LTE bude mít přednost před digitálním TV vysíláním. [22]

Více o technologii LTE je možné se dočíst v publikaci s názvem *LTE for 4G Mobile Broadband Air Interface Technologies and Performance*. [31]

1.4 DVB-T2

U nejnovějšího systému DVB-T2 již není použita starší komprimace MPEG2 nýbrž novější MPEG 4. MPEG 4 přináší větší komprimaci digitálního obrazu a tím více TV programů v jednom multiplexu. [9]

Mezi hlavní výhody nového standardu DVB-T2, se považuje zvýšení datového toku o více než 30 %, vylepšení příjmu signálu v jedno-frekvenčních digitálních sítích, lepší podpora mobilních a přenosných přijímačů apod. Hlavní výhodou (rozdíl) DVB-T2 oproti DVB-T je zavedení více vstupních datových toků, nazývaných kanálem fyzické vrstvy PLP (Physical Layer Pipes). Každá tato PLP dokáže nést jiný druh dat: [9]

- HDTV (High Definition Television) - programy ve vysokém rozlišení obrazu,
- SDTV (Standard Definition Television) - programy ve standardním rozlišení obrazu,
- mobilní přenos.

Každý tento typ je přenášen v rámci jednoho frekvenčního kanálu a je modulován jinou metodou s jinou robustností. Každý přijímač poté přijme jen to, co potřebuje. Např. HD (High Definition) televizor, který je náročný na objem přenesených dat, si vybere svůj díl namodulovaný

256QAM s nižším FEC. Každý PLP může být teoreticky modulován jinou metodou. Např. QPSK, 16QAM, 64QAM nebo 256 QAM a počet nosných COFDM je variabilní v hodnotách 1k, 2k, 4k, 8k, 16k a 32k. Frekvenční kanály mohou být na hodnotách 1,712; 4; 5; 6; 7; 8 nebo 10 MHz. [9] [10]

1.5 Odlišnosti DVB-T2 od DVB-T

Tak jako u staršího standardu, i zde se digitální signál musí zakódovat, zkomprimovat a modulovat. Přibývají ale další šířky vysílaných kanálů a nové módy. Kromě standardních šířek 5, 6, 7 a 8 MHz přibývají také šířky 1,712 a 10 MHz. K dosavadním módům 2k a 8k přibývá mód 1k pro mobilní příjem a především vyšší módy 16k a 32k. Tyto vyšší módy mají za následek menší kmitočtový odstup dvou sousedních nosných kmitočtů. Následkem je ale prodloužení trvání symbolu a díky tomu může dojít ke vzniku interferencí mezi nosnými kmitočty. Díky delšímu trvání symbolu lze při použití stejného poměru ochranného intervalu prodloužit užitečné části symbolu. Při vyšších módech klesají krajní části kmitočtového spektra rychleji a tím mohou tak být oba konce kanálu rozšířeny. [9] [10]

Další velká odlišnost je v použitém algoritmu korekce chyb. Protože každý přenos negativně ovlivňují chyby, je nutné je co nejrychleji rozpoznat a zkorigovat. K tomu se používá tzv. dopředná korekce chyb FEC (Forward Error Correction). Jak u DVB-T tak i u DVB-T2 se tímto k datům přidávají další data, která přijímači umožňují chyby přenosu rozpoznat i opravit. DVB-T používá pro dopřednou korekci chyb konvoluční kódování s kódovacím algoritmem Viterbiho a Redd-Solomona, které je slabší oproti kódování LDPC/BCH, jež používá právě DVB-T2. V tomto kódování jsou data chráněna kódem BCH (Bose Chaudhuri-Hocquenghama) a opětovně jištěna kódem kontroly parity s nízkou hustotou LDPC (Low Density Parity Check). Jde o kódování mnoha-úrovňové cyklické korekce proměnné digitální chyby s využitím vzorku vícenásobných náhodných chyb. Díky tomuto kódování je signál robustnější a tím odolnější vůči šumu a interferencím. [9] [10]

Standardy DVB-T i DVB-T2 jsou založeny na modulaci OFDM. Avšak díky tomu, že DVB-T2 používá systému protichybového zabezpečení LDPC/BCH, dovoluje navíc tomuto systému modulační mód 256QAM. Jednotlivé nosné kmitočty jsou vzájemně ortogonální, takže maximum každé nosné by se mělo překrývat s minimy ostatních nosných kmitočtů. [9] [10]

DVB-T2 dále využívá pootočení konstelačního diagramu, kdy se vytvořený konstelační diagram modulace pootočí v komplexní rovině I-Q tak, aby každý bod diagramu měl jedinečné souřadnice. Díky tomuto pootočení lze v Gaussově kanálu dosáhnout příjem beze ztráty. V typickém kanálu lze snížit požadovaný odstup signálu od šumu o 0,7 dB a v kanálu s vysokou mírou rušení až o 7,6 dB. Úhel pootočení diagramu je pak stanoven pro každou modulaci zvlášť. Další změnou je

pak hodnota poměru ochranného intervalu, kdy byly přidány hodnoty 1/128, 19/256 a 19/128. Tyto hodnoty lze ale použít jen v módech 8k, 16k a 32k. [9] [10]

Asi nejzásadnějším vylepšením je PLP (Physical Layer Pipes). PLP lze definovat jako kanál fyzické vrstvy s časově děleným multiplexem TDM (Time Division Multiplex). Jsou to toky na výstupu vstupního preprocesoru, který rozděluje vstupní toky jednotlivých služeb do logických datových toků. PLP lze samostatně přiřadit vlastní konstelaci, kódový poměr a hloubku časového prokládání. Jsou definovány dva základní módy. [9] [10]

- Vstupní mód A: Je to nejjednodušší mód, který lze považovat za přímé rozšíření tohoto systému. Tento mód používá jen jednu PLP, ale celý přenášený obsah má stejnou robustnost.
- Vstupní mód B: Tento mód je pokročilejší a využívá již více PLP. Samozřejmostí je vyšší robustnost a také navíc nabízí větší hloubku časového prokládání.

Spuštění tohoto nového standardu v pravidelném pilotním vysílání se plánuje na rok 2014. Nebude to ale pro širokou veřejnost, protože by si lidé museli zakoupit nové televizory s tunerem DVB-T2, kterých je ale na trhu minimum. Podle předpovědí je dokončení digitální infrastruktury pro nový standard reálný až mezi roky 2021 až 2024. Dříve to podle odborníků není možné. [11]

Příjem multiplexů digitálního pozemního televizního vysílání DVB-T ze sousedních států, u kterých je přesah DVB-T vysílání pro danou oblast, je vždy individuální. Na některých místech je příjem silnější a na některých tyto multiplexy nemusí být vůbec zachyceny. Záleží na tom, kde se nacházíme, v jaké výšce, jaký máme set-top-box a jakou máme přijímací anténu.

1.6 Příjem DVB-T ze sousedních států

Následující tabulka 1.2 ukazuje, jaké multiplexy můžeme přijímat v jednotlivých krajích ČR za normálního počasí. Není ale samozřejmostí, že tyto multiplexy lze přijímat po celém kraji. Ve vzdálených místech kraje od vysílače s nižší polohou tento signál DVB-T za normálních okolností přijímat nelze. Na těchto místech ale může pomoci inverzní počasí.

Tabulka 1.2 Přehled zahraničního příjmu DVB-T z jednotlivých krajů v ČR

Kraj ČR	Příjem ze sousední země	Multiplex	Vysílač
Jihomoravský	Rakousko	ORS Mux - A, ORS Mux - B	Wien 1 - Kahlenberg St. Pölten - Jauerling
Vysočina	Rakousko	ORS Mux - A, ORS Mux - B	Wien 1 - Kahlenberg St. Pölten - Jauerling
Středočeský	Rakousko	ORS Mux - A, ORS Mux - B	Wien 1 - Kahlenberg

			St. Pölten - Jauerling
Jihočeský	Rakousko	ORS Mux - A, ORS Mux - B	Wien 1 - Kahlenberg St. Pölten - Jauerling
Olomoucký	Rakousko	ORS Mux - A, ORS Mux - B	Wien 1 - Kahlenberg St. Pölten - Jauerling
	Slovensko	Multiplex 1, Multiplex 2, Multiplex 3 (veřejnoprávní)	Bratislava - Kamzík Nové Mesto n/V - Veľká Javorina Žilina - Křižava
Zlínský Jihomoravský	Slovensko	Multiplex 1, Multiplex 2, Multiplex 3 (veřejnoprávní)	Bratislava - Kamzík Nové Mesto n/V - Veľká Javorina Žilina - Křižava
Moravskoslezský	Slovensko	Multiplex 1, Multiplex 2, Multiplex 3 (veřejnoprávní)	Bratislava - Kamzík Nové Mesto n/V - Veľká Javorina Žilina - Křižava
	Polsko	Multiplex 1, Multiplex 2, Multiplex 3	Jelenia Góra - Śnieżne Kotły Kłodzko - Czarna Góra Wisła - Skrzyczne Katowice - Kosztowy
Královéhradecký Pardubický Olomoucký	Polsko	Multiplex 1, Multiplex 2, Multiplex 3	Jelenia Góra - Śnieżne Kotły Kłodzko - Czarna Góra Wisła - Skrzyczne Katowice - Kosztowy
Jihočeský Plzeňský	Německo	ZDF Multiplex	Hoher Bogen Brotjacklriegel Geyer Dresden - Wachwitz Löbau
	Německo	ARD Multiplex - Jižní, Severní	Hoher Bogen Brotjacklriegel
Karlovarský Ústecký Středočeský Praha	Německo	ZDF Multiplex	Hoher Bogen Brotjacklriegel Geyer Dresden - Wachwitz Löbau
	Německo	ARD Multiplex - Jižní + Severní, BR Multiplex Severní	Geyer Dresden - Wachwitz Löbau



Obrázek 1.3 Zobrazení zahraničních vysílačů

Tabulky 1.3, 1.4, 1.5 a 1.6 ukazují seznamy přijímaných vysílačů v ČR ze sousedních států, které jsou vyznačeny na obrázku 1.3. Pro každý multiplex jsou vypsány podrobné informace o vysílání, jako je výkon vysílače [kW], polarizace [V/H] a kanál [k] s vysílaným kmitočtem [MHz].

Pokrytí těchto zmíněných vysílačů z tabulek 1.3 až 1.6 je uvedeno v příloze A. Vykreslení pokrytí signálem bylo možné díky webové stránce [23]. Díky výpočtu šíření signálu si lze tedy představit, kde je příjem z již zmíněných vysílačů možný za normálního počasí a který je možný za inverzního rázu počasí.

Tabulka 1.3 Seznam německých vysílačů přijímaných v ČR s popisem vysílaných multiplexů

Název vysílače	ARD Multiplex - Jižní	BR Multiplex - Severní	ARD Multiplex - Severní	ZDF Multiplex
Löbau	-	27k, 522 MHz, V, 50 kW	39k, 618 MHz, V, 50 kW	36k, 594 MHz, V, 50 kW
Dresden - Wachwitz	-	29k, 538 MHz, V, 100 kW	39k, 618 MHz, V, 100 kW	36k, 594 MHz, V, 100 kW
Geyer	-	32k, 562 MHz, V, 50 kW	25k, 506 MHz, V, 50 kW	22k, 482 MHz, V, 50 kW
Hoher Bogen	28k, 530 MHz, V, 100 kW	-	42k, 642 MHz, V, 100 kW	33k, 570 MHz, V, 50 kW
Brotjacklriegel	7k, 522 MHz, V, 100 kW	-	40k, 626 MHz, V, 100 kW	33k, 570 MHz, V, 50 kW

Tabulka 1.4 Seznam rakouských vysílačů přijímaných v ČR s popisem vysílaných multiplexů

Název vysílače	ORS Mux - A	ORS Mux - B	ORS Mux - D
Wien 1 - Kahlenberg	31k, 554 MHz, H, 50,12 kW	21k, 474 MHz, H, 50,12 kW	36k, 594 MHz, H, 63,1 kW
St. Pölten - Jauerling	24k, 498 MHz, H, 63,1 kW	34k, 578 MHz, H, 63,1 kW	38k, 610 MHz, H, 39,81 kW

Tabulka 1.5 Seznam slovenských vysílačů přijímaných v ČR s popisem vysílaných multiplexů

Název vysílače	Multiplex 1	Multiplex 2	Multiplex 3 (veřejnoprávní)
Bratislava, Kamzík	44k, 658 MHz, V, 50,12 kW	56k, 754 MHz, V, 50 kW	27k, 522 MHz, V, 50 kW
Veľká Javorina	55k, 746 MHz, V, 50,12 kW	2, 56k, 754 MHz, V, 50,12 kW	57k, 762 MHz, V, 50 kW
Žilina, Krížava	35k, 586 MHz, V, 6,3 kW	52k, 722 MHz, V, 18,4 kW	32k, 562 MHz, V, 10 kW

Tabulka 1.6 Seznam polských vysílačů přijímaných v ČR s popisem vysílaných multiplexů

Název vysílače	Multiplex 1	Multiplex 2	Multiplex 3
Wisła, Skrzyczne	55k, 746 MHz, H, 100 kW	58k, 770 MHz, H, 100 kW	41k, 634 MHz, H, 60 kW
Katowice - Kosztowy	55k, 746 MHz, H, 100 kW	49k, 698 MHz, H, 63 kW	41k, 634 MHz, H, 100 kW
Czarna Góra	55k, 746 MHz, H, 50 kW	58k, 770 MHz, H, 50 kW	25k, 506 MHz, H, 50 kW
Śnieżne Kotły	30k, 546 MHz, H, 100 kW	35k, 586 MHz, H, 100 kW	49k, 698 MHz, H, 100 kW

Tato kapitola byla zpracována dle informací z [15].

1.7 Příjem signálu DVB-T ze zahraničí za inverze

Příjem DVB-T je určen jen pro danou oblast. Zahraniční digitální televize lze přijímat díky tomu, že se signál dostane až na území naší republiky. Ale jsou i případy, kdy lze sledovat zahraniční programy tam, kde je za normálních okolností přijímat nelze. Označuje se to jako dálkový příjem. Přesná definice, co to je dálkový příjem, neexistuje. Ale obecně to znamená, jak již bylo řečeno, že lze

přijímat signál jiné než místní televize tam, kde to za normálních okolností nelze. Způsobuje to inverzní počasí, které se objevuje hlavně na podzim a přes zimu. Tyto atypické podmínky ovlivňují šíření elektromagnetických vln. Čím větší je rozdíl teplot a čím menší vertikální šířka přechodu, tím je útlum vlnovodu menší a vzdálené signály jsou silnější. Více se o této problematice pojednává v kapitole 2.3 a 2.4. V příloze A je vyobrazen dosah signálu z pohraničních vysílačů, které lze přijímat. Tam kam se signál nešíří za normálního počasí (nebo je signál již příliš slabý), a tudíž ho nelze přijímat, se ale může vlivem inverze toto šíření změnit.

Na celém světě, tedy i u nás v České republice, jsou lidé, kteří si říkají „*Lovci signálů*“. Tito lidé každoročně zkouší nejen v podzimních a zimních obdobích přijímat vzdálené signály po celé ČR, ale mají to jako koníček a zkouší to ve volném čase kdykoli a kdekoli.

Na Šumavě nalezneme malou obec Bučina, která je nejvýše položenou obcí na celém českém území (1162 m n. m.). Na Bučině je místo zvané Alpská vyhlídka. Zde lze s vhodnou měřicí technikou přijímat vysílání z Německa z Wendelsteinu, Mnichova nebo z Rakouska z města Linz a naprosto čistý obraz z Innsbrucku. Dalším místem, kde můžeme přijímat vysílání ze sousedních států je rozhledna Boubín. Zde lze přijímat vysílání z Rakouska až od Vídně ze Sankt Pölten a ze Salzburgu. Z Německa je to pak Augsburg, Brotjackriegel a Wendelstein. [16]

Ze západu lze také přijímat signál z Bavorska, Saska a z Berlína. Jsou i případy, kdy se podařilo přijímat signál až z Tyrolska.

Okolo Českých Budějovic za období silné inverze lze také zachytit vysílání z rakouského Jauerlingu a Kahlenbergu, kde lze přijímat multiplex 1 i 2. Z Německa je to vysílání z Wachbergu. Lze zde také přijímat příjem ze severního Bavorska a to z Ochsenkopf/Hirschau a také ze Saska z Chemnitz/Shoneck. Z dalších zemí je to také Polsko. Odtud lze přijímat v Českých Budějovicích multiplex Emitel z vysílače Zielona Gora Jemiolow a Zagan Wichow. Ze slovenských příjmů je to vysílač Kamzík v Bratislavě. [17]

V Havířově lze za inverze přijímat vysílání i z rakouského Kahlenbergu. [18]

2 Problematika dálkového příjmu signálu DVB-T

2.1 Rozdělení kmitočtového pásma

Radiové vlny mají kmitočet pod 300 GHz a rozdělují se do následujících kategorií, jak ukazuje tabulka 2.1.

Tabulka 2.1 Rozdělení kmitočtových pásem [7]

Kmitočet	Délka vlny	Symbol	Český název
3 – 30 kHz	100 – 10 km	VLF	Velmi dlouhé
30 – 300 kHz	10 – 1 km	LF	Dlouhé
300 – 3000 kHz	1000 – 100 m	MF	Střední
3 – 30 MHz	100 – 10 m	HF	Krátké
30 – 300 MHz	10 – 1 m	VHF	Velmi krátké
300 – 3000 MHz	10 – 1 dm	UHF	Ultra krátké
3 – 30 GHz	10 – 1 cm	SHF	Centimetrové
30 – 300 GHz	10 – 1 mm	EHF	Milimetrové
300 – 3000 GHz	1 – 0,1 mm	-	-

Elektromagnetické záření má také korpuskulární povahu. Chová se tedy i jako proud částic (fotonů), které letí rychlostí c . Každý foton nese určitou energii, která nezávisí na intenzitě, ale na jeho frekvenci f a tedy na vlnové délce λ elektromagnetické vlny. Vlnovou délku vypočteme dle následujícího vzorce 2.1. [7]

$$\lambda = \frac{c}{f} \text{ [m]} \quad (2.1)$$

Kde c je rychlost světla v daném prostředí a f frekvence.

2.2 Šíření elektromagnetických vln

Elektromagnetická vlna, pozorovaná dostatečně daleko od jakékoliv antény v homogenním izotropním prostředí, je vždy vlnou kulovou. Vlnoplochy jsou soustředěné koule a jejich střed se označuje fázovým středem antény. Je-li anténa zcela všesměrová, září do všech směrů stejně

a intenzity pole jsou ve všech bodech vlnoplochy stejné. Amplituda elektromagnetického vlnění je vždy kolmá na směr šíření a je tvořena dvěma složkami - magnetickou a elektrickou. Složka magnetická se označuje H a složka elektrická E . Při šíření prostorem mají obě tyto složky stejnou fázi a jsou na sebe vždy kolmé. Rychlost šíření elektromagnetického vlnění v ideálním prostředí je rovna rychlosti světla. Tato rychlost se ale může měnit podle toho, zda vlnění prochází různými prostředími, tedy při přechodu z jednoho prostředí do druhého. Spolu s rychlostí šíření se také při přechodu mění vlnová délka. Elektrická i magnetická složka má stejnou velikost energie. Tato energie se vyjadřuje jako elektromagnetická intenzita. S narůstající vzdáleností tato energie klesá kvůli pohlcování radiových vlny (rozptyl a útlum). [20]

Pro příjem těchto vln se využívá principu, při němž se indukuje napětí na vodič, které je vyvozeno změnou magnetického pole působícího na daný vodič. Pokud chceme mít příjem kvalitní, musíme zajistit dostatečnou intenzitu vyzařování, aby se na vodiči naindukovalo potřebné napětí. [20]

Vlny se šíří podél rozhraní dvou prostředí, která mají podstatně rozdílné elektrické parametry. Povrch Země je částečně vodivé dielektrikum a vzduch se z elektrického hlediska blíží vakuu. Povrch Země je zvlněn, plný nerovností. Atmosféra jako taková není homogenní a ovlivňuje ji sluneční záření, které ji ve větších výškách ionizuje.

Šíření vln je ovlivňováno:

- vlnovou délkou,
- vertikálním složením atmosféry,
- tvarem zemského povrchu,
- překážkami na zemském povrchu.

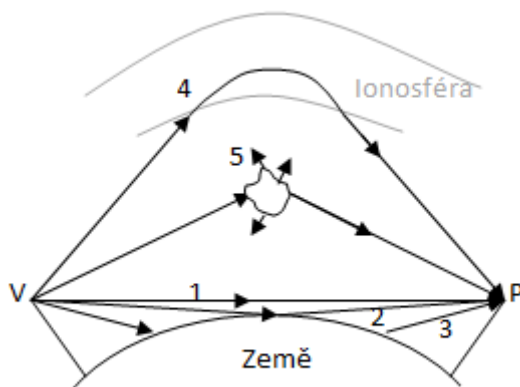
Největší vliv na rozdíly v šíření radiových vln různých vlnových délek má vertikální složení atmosféry. Atmosféru dělíme dle jejich základních vlastností na troposféru (10 – 12 km nad zemským povrchem), stratosféru (12 – 50 km nad zemským povrchem), ionosféru (50 – 600 km nad zemským povrchem) a exosféru (nad 600 km nad zemským povrchem). Každá z těchto vrstev má své charakteristické fyzikální vlastnosti, které jsou dány složením, hustotou, tlakem, teplotou atd. Elektromagnetické vlastnosti troposféry a stratosféry závisí na ročním období a denní době, podmínkách počasí a výšce.

Radiové vlny potom rozdělujeme do tří základních skupin:

- ionosférické,
- troposférické,
- přízemní.

Radiové vlny se šíří dvěma základními způsoby. Šířit se mohou buďto podélně kolem zemského povrchu, případně ohybem kolem něj (difrakcí) tzv. přízemní vlnou, nebo odrazy od některých z ionosférických vrstev, tzn. prostorovou vlnou. Způsob šíření pak závisí na vlnové délce a okamžitém stavu ionosféry. Velmi krátké vlny VHF mají kmitočet vyšší než je mezní kmitočet ionosféry, a proto se mohou šířit jen přízemní vlnou. [5]

Na obrázku číslo 2.1 lze vidět mechanismus šíření mezi vyvýšenou anténou *V* a přijímací anténou *P*. Šíření (1) není ovlivněno zemí ani ionosférou, jde tedy o šíření přímou vlnou. Toto spojení je typické pro velmi vysoké kmitočty (několik GHz a více) s přímou viditelností. Prostorová vlna vyžaduje vyvýšené antény a také s přímou viditelností a je typická pro kmitočty od 30 MHz do několika GHz. Rozhraní mezi vodivým prostředím a nevodivým je schopné vést elektromagnetické vlny podobně jako vodivý drát a označuje se jako povrchová (přízemní) vlna (3). Tato vlna sleduje zemský povrch a je typická pro spojení na nízkých kmitočtech do několika MHz. Ionosférická vlna (4) využívá působení vrstev na dráhy vln. Tyto vlny se v ionosféře různě zakřivují a odráží se zpět na povrch Země. Tímto způsobem lze zajistit spojení i na 4000 km jedním odrazem. Ionosférická vlna má kmitočet do 30 MHz. Troposférické šíření rozptylem využívá nehomogenit v troposféře a vlivem turbulentního proudění vzduchu vznikají místa s nepatrně odlišnými fyzikálními parametry a tedy i s odlišnou permitivitou. Dopadající vlnění je rozptýleno a lze je přijímat daleko za horizontem. Tento mechanismus je typický pro kmitočty od stovek MHz do jednotek GHz s dosahovanou vzdáleností několika stovek kilometrů. [19]



Obrázek 2.1 Mechanismus šíření vln

- (1) vlna přímá, (1+2) vlna prostorová, (3) vlna povrchová, (4) vlna ionosférická,
- (5) troposférický rozptyl

Vlny v pásmu UHF a VHF se šíří přímou a prostorovou vlnou. Kmitočet je natolik vysoký,

že povrchové vlny jsou prakticky utlumeny a při dopadu vlny na ionosféru nedochází k odrazu a vlna touto vrstvou prochází. Vyzařovací antény jsou také umísťovány vysoko nad zemským povrchem, buď na kopce a poté na vysoké stožáry, nebo na vysoké budovy, aby byla zajištěna přímá viditelnost. Tímto je také zajištěna dominance přímé a prostorové vlny. [19]

2.2.1 Volba polarizace

Polarizace se v souvislosti s TV vysíláním rozděluje na horizontální (H) a vertikální (V).

Vertikální polarizace je v pásmech VHF a UHF vhodnější pro mobilní a přenosné aplikace, protože jak vysílací tak i přijímací antény mají ve svém základním jednoduchém provedení odvozeném od dipólu kruhový vyzařovací charakter. Na střeších vozidel se použijí antény v provedení unipólu. Nevýhodou vertikálně polarizovaných vysílačích a přijímacích antén je nutnost odsazení od vodivého stožáru. Stožár totiž svým vertikálním tvarem deformuje jejich diagram a znehodnocuje tak příjem nebo vysílání. Vertikální polarizace se volí hlavně v městských oblastech, kde se používají pokojové antény, pro které je vertikální polarizace signálu vhodnější, jelikož vertikálně polarizovaný signál se lépe šíří v členitém terénu a v případě měst v husté zástavbě. Vertikální polarizace se může také vyskytnout v horských údolích či odlehlých obcích. [21]

Horizontálně polarizované vysílače jsou vhodnější pro umístění na stožár, protože stožár může procházet mezi prvky antény. Charakteristika signálu není deformovaná, protože stožár je na něj kolmý. Horizontálně polarizované antény se tedy volí proto, že montáž je mnohem jednodušší než je tomu u vertikálních a také proto, že pro analogovou televizi se vysílalo horizontálně. Vertikální polarizace se začala zavádět zejména kvůli mobilnímu příjmu, protože mobilní příjem s horizontální polarizací je špatný. [21]

2.2.2 Šíření vln VHF a UHF

V pásmu VHF (30 až 300 MHz) leží ještě kmitočty (do 35 MHz, výjimečně 50 MHz), které se mohou šířit ionosférickou vlnou. V pásmu metrových vln jsou ještě možné spoje, které pracují s povrchovou vlnou. Podmínkou je vertikální polarizace a malá výška antén. Jedná se o řád jednotek metrů a menší, přičemž musí být splněna podmínka rovinatého terénu. Útlum povrchové vlny je velký a dosah je asi 20 až 30 km pro vysílače při výkonu desítek wattů. Čím vyšší kmitočet, tím více klesá mezní výška antén pod 1 m a spojení povrchovou vlnou již nepřichází v úvahu. [20]

V terénu, který je zvlněný se přičítá výška pahorků k výšce antén a mezní výška se snadno překročí. Intenzita pole prostorové vlny převládne nad intenzitou pole vlny povrchové a dosah vysílačů se zvětší. Šíření prostorovou vlnou je zde typickým mechanismem. Překlenuté vzdálenosti závisí na výškách antén. Běžně je v řádu desítek kilometrů a při opravdu velkých výškách se jedná i o stovky kilometrů. [20]

Útlum při difrakci roste s kmitočtem. Ve spodní části pásma je malý a spojení za horizont s méně výraznými překážkami nepřináší zvláštní potíže. Nejméně starostí působí překážky ostré, zatímco protáhlé ploché vrcholy tlumí poměrně hodně. V horní části pásma je útlum při ohybu velký a přichází požadavek přímé viditelnosti. [20]

V pásmu decimetrových vln (300 MHz až 3 GHz) je typické šíření prostorovou vlnou. Zde je již kladen velký důraz na přímou viditelnost. Důsledkem velkého útlumu při difrakci a přímé viditelnosti je dosah trasy do 100 km. [20]

V horní části pásma UHF již není možná považovat povrch Země za hladký. Vlivem drobných terénních nerovností postupně přechází odraz Země v rozptyl a vliv odražené vlny klesá. Šíření prostorovou vlnou postupně přechází v šíření odpovídající volnému prostoru, i když vliv rozptýlených a odražených vln je stále patrný. [20]

2.2.3 Šíření troposférou

Atmosféra má téměř stále stejné složení (78% N₂, 21% O₂, 0,9% CO₂, 0,1% vzácných plynů) do výšky asi 100 km. Troposféra, což je její nejnižší oblast, je typická značným obsahem vodních par a výraznou změnou základních parametrů (teploty, tlaku, vlhkosti) s výškou. Ve standardní atmosféře klesne tlak vzduchu ve výšce 5 km a tlak vodních par ve výšce 1,5 km. Teplota klesá asi o 6,5°C na 1 km výšky. Tyto průměrné hodnoty se ale liší na různých místech planety. Např. při teplotní inverzi je ve vyšších polohách teplota vyšší. [20]

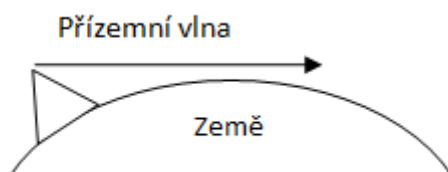
Permitivita atmosféry se mění s uvedenými parametry a tedy i s výškou. Atmosféra je nehomogenní prostředí, i když relativní permitivita atmosféry je $\epsilon_r = 1,000676$. Závislost indexu lomu (vzorec 2.2) na teplotě T , tlaku vzduchu p a tlaku vodních par P_v popisuje rovnice 2.3 [20]:

$$n = \sqrt{\epsilon_r} \quad [-] \quad (2.2)$$

$$(n-1) \cdot 10^{-6} = \frac{0,776}{T} \left(p - \frac{4810 P_v}{T} \right) \quad [-; K; Pa]. \quad (2.3)$$

2.2.4 Povrchová (přízemní) vlna

Přízemní vlna, která je zobrazena na obrázku 2.2, se šíří v těsné blízkosti nad zemí, ohýbá se a její intenzita je závislá na elektrických vlastnostech půdy. Jelikož zemská půda pohlcuje energii, je šíření přízemních vln omezené jen na krátké vzdálenosti. V případě velmi krátkých vln je to jen na přímou viditelnost. Krátké vlny mají dosah pouze několik desítek kilometrů. Největší vliv na toto šíření mají odrazy od předmětů na povrchu země, hlavně v případě, kdy je velikost předmětů stejná jako délka vlny nebo větší. [6]



Obrázek 2.2 Šíření elektromagnetických vln přízemní vlnou

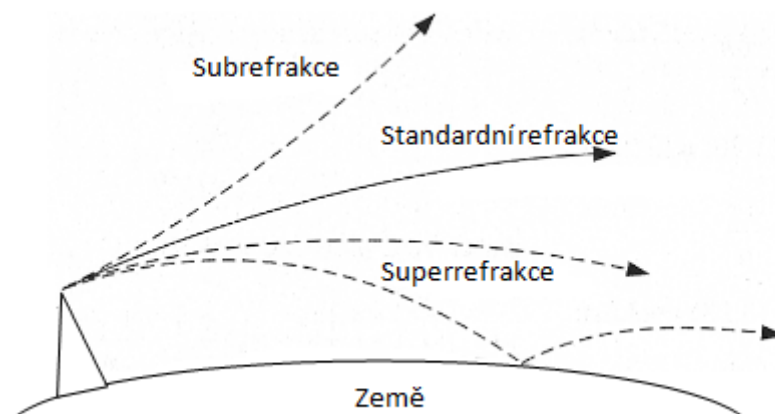
2.2.5 Přímá vlna

Tato vlna se šíří volnou atmosférou až do kmitočtu asi 1 GHz bezproblémově, protože se atmosféra chová téměř jako vakuum. Intenzitu pole této vlny lze tedy spočítat dle vztahu 2.4 [19]:

$$E_{ef} = \sqrt{30PD}/r, \quad (2.4)$$

kde E_{ef} je efektivní hodnota intenzity pole ve vzdálenosti r , P je vyzařovaný výkon a D je činitel směrovosti antény.

Jak již bylo řečeno, na kmitočtech pod 1 GHz je útlum téměř zanedbatelný, ale nad 1 GHz se začíná projevovat dodatečný útlum. Příčinou jsou atmosférické srážky (mlha, sníh, déšť, ...). Vodní částice způsobují útlum při 10 GHz asi 0,05 dB/km. Tento útlum je ale závislý na kmitočtu, intenzitě a druhu srážek. Dalším faktorem ovlivňujícím útlum je rezonance molekul atmosférických plynů, hlavně vodní páry a kyslíku. Molekuly těchto plynů mají složitý elektromagnetický rezonanční systém s mnoha rezonančními frekvencemi. K největšímu útlumu dochází, pokud je frekvence šířícího se vlnění blízká některé rezonanční frekvenci. Pokud je tomu naopak, útlum je mnohem menší a označuje se to „atmosférickým oknem“. Atmosféra ovlivňuje nejen intenzitu pole, ale i trajektorii vln. Trajektorii ovlivňuje změna vlastností atmosféry s rostoucí výškou, zejména pokles tlaku. S rostoucí výškou se mění i permitivita. Blíže k povrchu země je permitivita přibližně 1,00067, ale protože je fázová rychlost vlny nepřímo úměrná odmocnině z permitivity, tak se při vyšších výškách vlnění šíří větší fázovou rychlostí. Důsledkem tohoto chování je, že se vlny zakřívují směrem k Zemi, což je označováno jako atmosférická refrakce nebo atmosférický lom (obrázek 2.3).



Obrázek 2.3 Tři základní případy atmosférické refrakce

Dráha vlny je obloukem kružnice s poloměrem asi 25 000 km. Je to poloměr křivosti paprsku, který odpovídá přibližně čtyřnásobku poloměru Země. Pokud se vlna ohýbá k Zemi více, jedná se o superrefrakci. V opačném případě, kdy se vlna odklání od povrchu Země, mluvíme o subrefrakci.

Pro spojení přímou vlnou je podmínkou dostatečně velký volný prostor mezi vysílací a přijímací anténou. V terénu za tuto překážku můžeme považovat kopec a také městské zástavby. Neznamená to ale, že když by byla zajištěna přímá viditelnost a povrch byl naprosto hladký, že existence přímé vlny nebude omezena. Tato maximální vzdálenost je omezena vzdáleností mezi anténami a označuje se jako „přímá radiová viditelnost“ a závisí na výškách antén a na efektivním poloměru Země. Tuto vzdálenost lze obecně vypočítat vztahem 2.5[19]:

$$d = \sqrt{2R}(\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2}) \text{ [km]}, \quad (2.5)$$

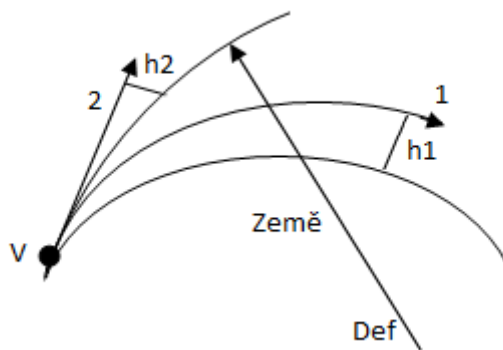
kde d je daný dosah, R je reálný poloměr Země, h_1 [km] je výška vysílače nad zemským povrchem a h_2 [km] výška přijímače nad zemským povrchem. Po dosazení poloměru Země dostaneme vztah 2.6 [19]:

$$d_{oh} = 3,57(\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2}) \text{ [km; m; m]}, \quad (2.6)$$

kde d_{oh} je vzdálenost optického horizontu v kilometrech.

Pro výpočet vzdálenosti radiového horizontu je potřeba transformovat zakřivení vlny na rovnou vlnu pohybující se nad „imaginární“ Zemí, jejíž poloměr je zvětšený o daný poměr. Tento nový poloměr se označuje jako „efektivní poloměr Země“. Uvažujeme-li, že se vlna, která by nad Zemí s reálným poloměrem měla dané zakřivení, pohybuje nad povrchem Země s efektivním poloměrem, jeví se tato vlna jako rovná.

Na obrázku 2.4 lze vidět původní trajektorii vlny (1) nad skutečným povrchem Země. Zvětšený poloměr Země (efektivní) D_{ef} má za standardních atmosférických podmínek hodnotu asi 8500 km. Ale tato hodnota se může značně měnit se změnami v atmosféře, např. při teplotní inverzi.



Obrázek 2.4 Atmosférická refrakce a zavedení efektivního poloměru Země

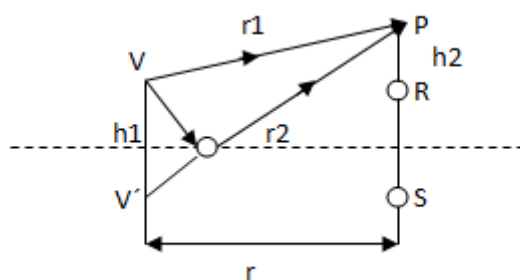
Z toho plyne následující vztah 2.7 pro výpočet radiového horizontu D_{ef} za podmínek refraktivity ve standardní atmosféře [19]:

$$D_{ef} = 4,12(\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2}) \text{ [km; m; m]}. \quad (2.7)$$

Je-li přijímač ve větší vzdálenosti než je přímá viditelnost, říkáme, že je v oblasti „stínu, za radiovým horizontem“. Přímá vlna tedy vzniknout nemůže. Přesto ale však intenzita pole nemusí být v místě příjmu nulová. Vlnění se tam dostane difrakcí nebo ohybem. [19]

2.2.6 Prostorová vlna

Tento typ šíření je typický pro vlny metrové a decimetrové (VHF a UHF). Díky jejich vlnové délce se již mohou odrážet od zemského povrchu. Tento mechanismus však vyžaduje větší výšky antén (na vyvýšených místech a stožárech). Při zmenšování výšek (kmitočtu) klesá intenzita pole. Do místa příjmu dorazí vždy alespoň jedna odražená vlna s vlnou přímou. Oba tyto typy vln poté spolu interferují a vytvoří výslednou intenzitu pole vlny prostorové. I u tohoto typu vlny je podmínkou přímá viditelnost. [20]



Obrázek 2.5 Přijímací strana v jiné výšce než je vysílač

Na obrázku 2.5 lze vidět situace, kdy vysílací strana V a přijímací strana P jsou v různých výškách $h1$ a $h2$. Po dráze $r1$ přichází přímá vlna a její intenzitu elektrického pole $E1$ lze vypočítat snadno pomocí vzorce 2.4. Po dráze $r2$, která je o $\Delta r = r2 - r1$ delší, přichází odražená vlna s intenzitou $E2$. Rozdíl amplitud je velice malý. Musí se ale počítat s fázovým zpožděním k Δr odražené vlny ($k = 2\pi/\lambda$). Odražená vlna ale změní jak svou amplitudu, tak i fázi velice významně, protože se odrazila od povrchu Země. Činitel odrazu $p' = p \cdot e^{-j\theta}$ a výpočet intenzity $E2$ se vypočte následujícím vzorcem 2.8 a výpočet E_{ef} dle 2.9: [20]

$$E2 = E1 \cdot p \cdot e^{-j\theta} \cdot e^{jk\Delta r}, \quad (2.8)$$

$$E_{ef} = E1 \cdot |1 + p \cdot e^{-j\theta} \cdot e^{jk\Delta r}| = \frac{\sqrt{30PD}}{r} \sqrt{1 + p^2 + 2p \cos(\theta + k\Delta r)}. \quad (2.9)$$

Dráhový rozdíl $\Delta r = r2 - r1$ vypočteme pomocí pravoúhlých trojúhelníků VRP a V'SP, kde $r1$ a $r2$ budou přeponami, jak ukazuje vztah 2.10 a z toho plyne vztah 2.11.

$$r_{1,2} = \sqrt{r^2 + (h2 \pm h1)^2} = r \sqrt{1 + [(h2 \pm h1)/r]^2} = r[1 + 0,5[h2 \pm h1]^2/r^2], \quad (2.10)$$

$$\Delta r = r2 - r1 = 2h1h2/r. \quad (2.11)$$

Je-li úhel dopadu blízký $\pi/2$, pak se činitel odrazu blíží hodnotě -1. Takže $p=1$, $\theta=\pi$. Tato situace nastane, jestliže jsou výšky antén malé vůči vzdálenosti r . Intenzita pole prostorové vlny se tedy vypočte po dosazení dle vzorce 2.12 [20]:

$$E_{ef} = [\sqrt{30PD}/r] 2 \sin(k h1 h2/r). \quad (2.12)$$

Jestliže chceme tento vzorec použít, musí být splněna podmínka přímé viditelnosti mezi přijímací a vysílací anténou a je třeba znát jejich výšku nad zemským povrchem. Musíme též znát profil terénu, abychom našli správnou rovinu odrazu. Tuto analýzu a výpočet vlny v dnešní době provádí počítač, který při výpočtu pokrytí signálem používá digitalizované mapy. [20]

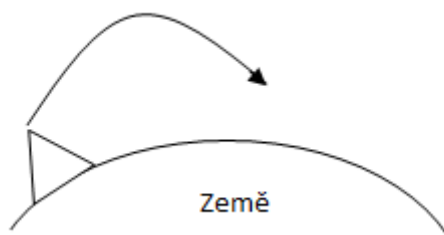
Tento mechanismus šíření prostorové vlny se používá pro kmitočtové pásmo 30 MHz

až několik GHz. Prostorová vlna dominuje ve vysokých výškách, kde antény nejsou blízko zemskému povrchu. Právě toto kmitočtové pásmo a prostorové šíření elektromagnetického vlnění využívá DVB-T. [20]

Prostorová vlna se dále dělí na troposférickou a ionosférickou.

Prostorová vlna troposférická

Vlnám, které se šíří troposférou (obrázek 2.6), se část elektrických parametrů a část záření může odrážet a lámat. Velmi ostré rozhraní permitivit může nastat na ostrém rozhraní mezi studeným a vlhkým vzduchem, který je dole, a teplým suchým vzduchem, který je nahoře, což může nastat vlivem inverze. Čím větší je rozdíl ostrostí na rozhraní, tím lépe se budou vlny kratších vlnových délek lámat. Za určitých výborných povětrnostních podmínek dochází k tzv. kritickému lomu, kdy se pro radiové vlny vytvoří vlnovod, který vlnám umožní překlenout vzdálenost 500 až 700 km. Na krátké vlny nemá stav troposféry téměř žádný vliv. [6]



Obrázek 2.6 Šíření rádiových vln troposférickou vlnou

Prostorová vlna ionosférická

Spojení ionosférickou vlnou je charakteristické pro krátkovlnné dálkové spoje (stovky a tisíce kilometrů). Vyzáření těchto vln je zajištěno anténou, která pod specifickým úhlem tuto vlnu vyzařuje a zajišťuje odraz od některé z ionosférických vrstev zpět k zemi. Jak se tato vlna zachová, zda-li se částečně nebo zcela utlumí nebo odrazí, závisí na: [20]

- frekvenci vlny,
- úhlu dopadu na ionosféru,
- momentálním stavu ionosféry.

Tato vlna se může šířit i několika násobnými odrazy od různých vrstev ionosféry, aniž by tuto vrstvu opustila. Vzniká tedy tzv. ionosférický vlnovod. Tentýž vlnovod také může vzniknout odrazy

mezi ionosférou a zemí. Vlna také může přecházet z jednoho vlnovodu do druhého. Díky těmto vlnovodům je možné dálkové spojení i na kratších vlnových délkách. [6]

2.3 Inverze

2.3.1 Inverze a její vznik

Inverze způsobuje, že se vlny začnou šířit jinak, než bychom předpokládali. Proto má velký vliv na příjem pozemního digitálního televizního vysílání. Co to vlastně inverze je? Inverze je meteorologický jev, kdy teplota vzduchu v některé vrstvě dolní atmosféry s výškou neklesá, ale stoupá. Pokud panují normální podmínky, klesá teplota vzduchu v troposféře (dolní vrstva atmosféry, do výšky přibližně 11 km) s rostoucí výškou nad zemí rovnoměrně o 0,65 až 1 °C na každých 100 m. Díky slunečnímu záření se během celého dne země ohřeje a teplo, které se nahromadí, se odevzdává během noci zpět vzduchovým vrstvám, které jsou blízko zemskému povrchu. Pokud se tento proces obrátí, označujeme jej jako „*inverze*“. Inverze je znatelná v ranních hodinách, kdy je vzduch ochlazen. Tento jev se označuje jako přízemní inverze a tvoří se při bezoblačném počasí. V místech, kde se studená vzduchová vrstva stýká s teplou vrstvou, vznikají oblasti, kde se víří vzduch a ten může odrazit televizní signál v jiných směrech a tím ho přemístit i na vzdálená místa na zemském povrchu. K těmto odrazům dochází díky přesunům studených front. [3] [4]

Výskyt inverze může nastat i na horní hranici mraků nebo mlhy. Část tepelného záření ze slunce se odráží a teplota pod hranicí neroste. Právě tento jev poměrně často vzniká v podzimní a zimní době (říjen až leden) a jeho výška se pohybuje od 300 do 500 m nad zemí. Existuje i tzn. „*inverze poklesová*“, kdy klesající vrstvy vzduchu v oblastech vysokého tlaku se ohřívají rostoucím tlakem. Tímto způsobem se právě stává, že svrchní vrstvy jsou teplejší než ty pod nimi a v těchto teplejších vrstvách rychle klesá vlhkost. [3] [4]

Pro nás je ale nejzajímavější inverze nazvaná „*advekční inverze*“. Protože právě tato inverze způsobuje mimořádné dosahy. Tato inverze vzniká tehdy, když se vodorovně rozložené a většinou suché vrstvy vzduchu nahnou přes studenější vrstvy vzduchu vlhčího. Tyto zlepšené podmínky pro dálkové šíření však trvají jen několik hodin nebo i jen několik minut a vzdálenost při nich překlenutá nebývá větší než 400 až 600 km. Hlavní rozhraní, kde dochází k lomu vln, je tvořeno hranicí mezi postupujícím teplým vzduchem, který se nasouvá na ustupující studený vzduch. Tato plocha (hranice) je skloněna k zemskému povrchu pod úhlem asi 7°. [3] [4]

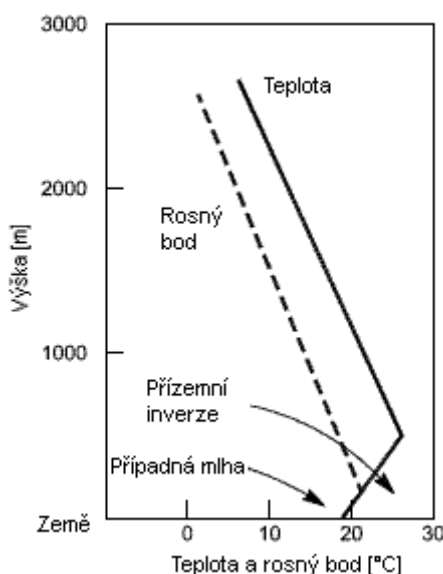
Také mohou nastat situace, kdy se jednotlivé inverze v různých kombinacích spojí. Pro vznik inverzí je prvním předpokladem oblast vysokého tlaku, tzv. „*anticyklony*“. Rychlý vzestup atmosférického tlaku a současný pokles teploty jsou znaky tzv. „*studené anticyklony*“. Jde o oblast

studeného vzduchu, která se nachází mezi dvěma frontálními poruchami. Vzniklé rozhraní těchto dvou různých prostředí umožňuje šíření vln VHF na vzdálenost 500 až 1000 km. Tyto oblasti se pohybují rychlostí od 50 do 70 km/hod. [3] [4]

Úplně nejlepší podmínky pro opravdu velmi dálkový příjem signálů v pásmu VHF přichází většinou na konci řady studených anticyklon, které se nazývají stacionární anticyklony. Tato anticyklona se obvykle rodí nad Azorskými ostrovy a mohutní nad západní Evropou a pohybuje se k jihovýchodu. Stacionární se tato anticyklona nazývá proto, že zůstává na jednom místě i několik týdnů. Přináší s sebou hezké počasí na horách a mlhavo a sychravo v nížinách. Tyto výborné podmínky mohou být ještě vylepšeny nasunutím teplého vzduchu z jihu. Potom má tlakový útvar průměr až 2000 km a na jeho okrajích se inverze přibližuje k zemi. V těchto místech se pak daří nejdelší možná spojení. Vliv sesedání vzduchových hmot, kdy je vrstva studeného vzduchu ještě více stlačována k zemi a podmínky se ještě zlepšují, jsou v ČR vlivem horských masívů elektromagnetické vlny přetrnuty a tím tyto výborné podmínky končí. Obvykle se tato meteorologická situace vytváří mezi 6. až 29. říjnem. [3] [4]

2.3.2 Přízemní inverze

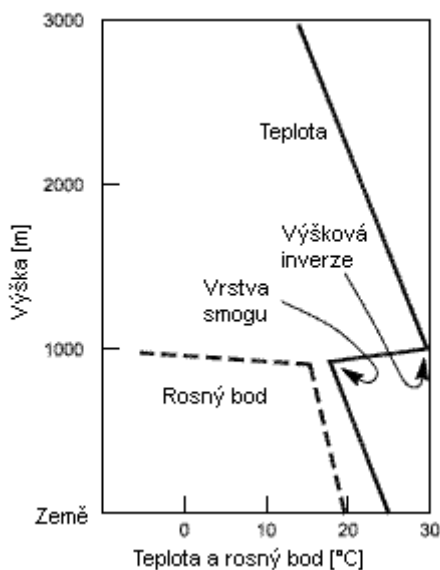
K této inverzi dochází při západu slunce, kdy ze země sálá teplo a tím se ochlazuje a ohřívá prostor ve vyšších výškách. Inverze dosahuje do výšky až 500 m. Na obrázku 2.7 je vidět typický inverzní profil. [8]



Obrázek 2.7 Profil přízemní inverze [8]

2.3.3 Výšková inverze

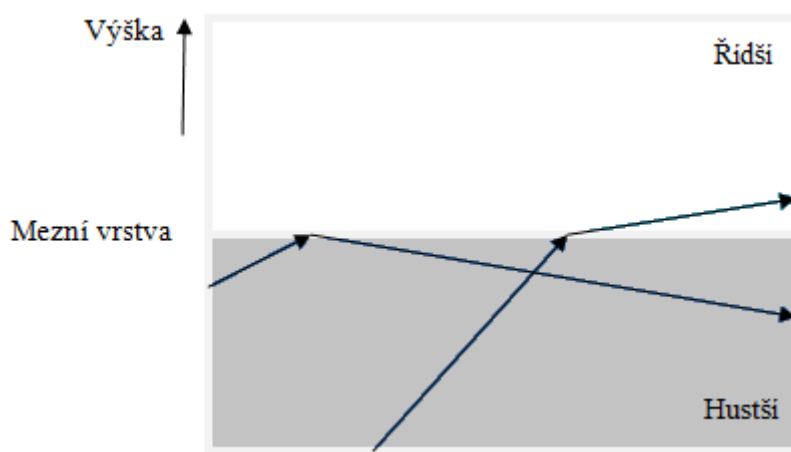
Výškové inverze začínají v určité výšce nad zemským povrchem (do této výšky teplota klesá). Její typický profil je na obrázku 2.8. K šíření vln troposférou dochází tehdy, je-li lom tak velký, že se radiové vlny ohýbají zpět k povrchu Země. K tomuto jevu dochází právě tehdy, když nastává výšková inverze. Pokud je inverze ve výšce mezi 250 až 2000 m, tak vlivem vlnovodu který díky tomuto vzniká, se šíří radiové kanály s velmi nízkým útlumem. [8]



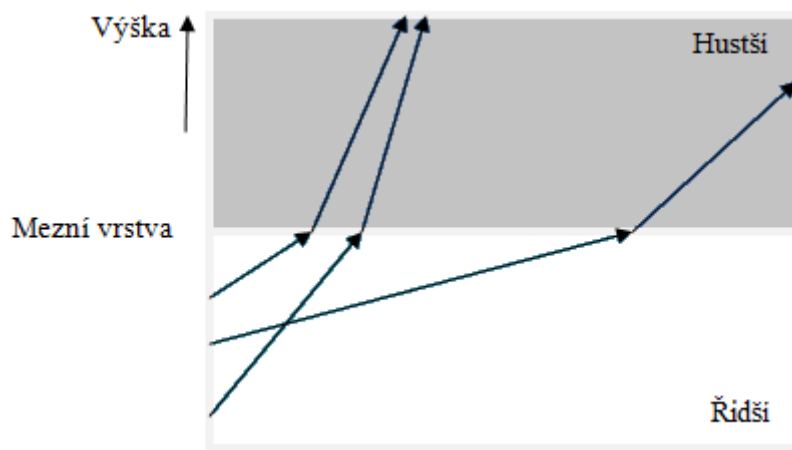
Obrázek 2.8 Profil výškové inverze [8]

2.4 Účinky inverzí na šíření vlnění

Šíření velmi krátkých vln je velice podobné šíření světla (šíří se přímočaře). V závislosti na poměru vlnové délky a velikosti překážky se mohou ohýbat za terénními překážkami a odrážet se od nich. Tak jako se světlo dokáže lámat v přechodu z jednoho prostředí do druhého, tak se dokáží lámat i VHF a UHF vlny. U obou těchto druhů elektromagnetických vln se děje to, že se vlny šíří v prostředí s větším indexem lomu. Inverze představuje mezní vrstvu mezi studeným hustým vzduchem a teplejším řídkým vzduchem. Toto má vliv na šíření elektromagnetických vln, kdy se vlna šíří podél rozhraní dvou teplotních oblastí. Tato mezní vrstva se chová vůči elektromagnetickým vlnám podobně jako hladina vody vůči světlu. Lom vln na rozhraní hustého a řídkého vzduchu lze vidět na obrázcích 2.9 a 2.10. [3] [4]



Obrázek 2.9 Lom vln na rozhraní hustší a řidší vrstvy vzduchu (a)



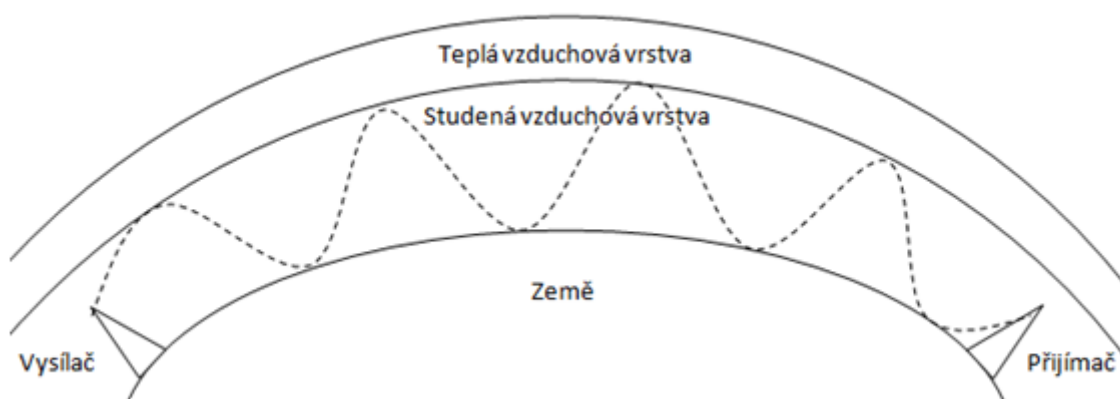
Obrázek 2.10 Lom vln na rozhraní hustší a řidší vrstvy vzduchu (b)

Příznivé podmínky pro úplný odraz šíření vln VHF mohou nastat jen tehdy, když vlna dosáhne vrstvy hustšího prostředí. Protože vlny jsou generovány pozemními vysílači a vysílány na troposféru, mohou se lámat podle zakřivení Země (nebo odrážet), když teplejší, tedy řidší vrstva vzduchu leží na studenější (hustší) vrstvě. K tomuto jevu dochází právě za inverze. Z toho vyplývá, že čím větší je teplotní rozdíl mezi těmito vrstvami, tím dochází k lepšímu odrazu vln a útlum vlnovodu je menší a vzdálené signály jsou silnější. Šíření podél teplotního rozhraní způsobuje mnohahodinový stabilní příjem vzdálených signálů téměř bez úniků frekvencí i nad 1 GHz. Maximální vzdálenosti přijímaných stanic jsou v podstatě dány pouze velikostí inverzní oblasti. Také je pochopitelně důležitý rozdíl ve vlhkosti těchto dvou vrstev. Dalším důležitým elementem je i tloušťka inverze, která bývá v létě 200 m a v zimě asi 300 m. Velmi obtížně se zjišťují výškové inverze okolo 2000 až 3000 m, které mají

tloušťku 10 až 100 m. Zlepšené komunikační možnosti poskytuje přízemní inverze na vzdálenosti 500 až 700 km. Na vzdálenost větší než 700 km se zlepšení šíření vysvětluje mnohonásobnými odrazy v „ductech“, neboli vlnovodech. [3] [4]

2.5 Šíření ve vlnovodech

Tento specifický jev se vyskytuje u elektromagnetického vlnění s frekvencí v pásmu VHF a UHF (při velmi silném vlnovodu až do 10 GHz). Jedná se o refrakci v troposféře, která může několikanásobně prodloužit přízemní a prostorové vlny až za horizont. Díky opětovnému lomu a superrefrakci, se paprsek stále lomí zpět k povrchu Země a nevzdálí se od něj a tím vznikají mimořádné příjmové podmínky. Tento jev lze vidět na následujícím obrázku 2.11.



Obrázek 2.11 Lom vln ve vytvořeném vlnovodu

Duct je vlastně vlnovodný kanál, který je vytvořen díky inverznímu rázu počasí. Tento kanál může být umocněn za současného výskytu výškové i přízemní inverze. Díky tomu se vlně umožní, aby se odrážela a šířila jako ve vlnovodu na velkou vzdálenost. Předpokladem pro přízemní inverzi je stabilní podzimní počasí s vysokým tlakem, teplé slunné dny a jasné noci, kdy se intenzivním vyzařením tepla přízemní vrstvy ochladí. Pro vznik výškové inverze se musí navíc na studené vrstvy vzduchu nasouvat teplý a suchý vzduch. Proto je důležité, aby v tomto období výše popsané uspořádání nenarušovaly frontální poruchy a víření. Díky tomuto vlnovodu je možné zlepšit šíření signálu velmi krátkých vln až na 1500 km. [4] [8]

Je-li inverze dostatečně silná, tedy rozdíl teplot na hranici mezi studeným a teplým vzduchem je co největší a celistvost struktury hranice není ničím narušována, je vlna následně ohnuta zpět k zemi. Inverzní hranice spolu se zemským povrchem vytvoří odrazné plochy a tím tedy „duct“,

neboli vlnovod. Signál, který je zachycený ve vlnovodu, se může opět odrazit od země zpět na inverzní hranici, tímto způsobem sledovat zakřivení Země a může doputovat stovky, někdy i tisíce, kilometrů. V tropech a nad rozsáhlými vodními plochami zajistí silná inverze, která pokrývá rozlehlé geografické plochy, stabilní vlnovod i na několik dní. Délka tohoto putování je závislá pouze na velikosti inverze.

Základním principem vln je, že vlnová délka signálu se zkracuje se zvyšující se frekvencí. Z tohoto důvodu určuje velikost troposférického vlnovodu nejnižší frekvenci signálu, který může přenášet. Tato nejnižší použitelná frekvence je známa jako LUF (Lowest Usable Frequency). Fyzicky malý vlnovod, který má odrazné plochy blíže k sobě, bude propagovat pouze vysoké frekvence signálu s kratší vlnovou délkou. Při zvětšení vzdáleností odrazné plochy inverze a Země se budou přenášet signály o nižší frekvenci, tudíž signály s větší vlnovou délkou. Nejmenší rozměr vlnovodu, jeho výška, tedy určuje kmitočet, který může vlnovod přenést a zároveň jeho tloušťka určuje, pro který kmitočet poskytne optimální podmínky šíření. Výpočet přenášené vlnové délky lze vypočítat vztahem 2.13. [4]

$$\text{Platí: } \lambda = 2,5 \cdot 10^{-13} \cdot d \cdot (\Delta M)^{1/2}, \quad (2.13)$$

kde ΔM je amplituda ductu (největší pozorovaná byla 40),

d je tloušťka ductu,

λ je největší vlnová délka, kterou může vlnovod přenášet.

(Pro 2 m musí být d nejméně 130 m, pro 70 cm stačí 50 m.)

Je tedy možné, že vytvořený vlnovod bude přenášet jen digitální televizi v pásmu UHF, ale nebude již efektivní pro přenos digitální televize v pásmu VHF a naopak.

Přenášené signály okolo 1000 km jsou pozorovány, ale častější je přenos na vzdálenost 500 - 800 km. Přenesený signál vlnovodem může být dokonce tak silný, že může způsobit rušení místních signálů pracujících na stejné frekvenci.

3 Měření kvality dálkového příjmu DVB-T ve vytypovaných oblastech

3.1 Měřené parametry

3.1.1 Úroveň signálu

Pro pozemní televizní digitální vysílání je hodnota úrovně užitečného signálu udávána v jednotkách dBμV. Minimální hodnota pro příjem činí 31 dBμV při minimálním poměru signál/šum 20 dB. Optimální je hodnota 45 - 64 dBμV. [1]

3.1.2 C/N

Šum představuje vždy určité znehodnocení na přenosové trase. Úroveň šumu se měří na vstupu přijímače. Parametr C/N (Carrier-to-Noise) představuje poměr výkonu užitečného signálu k úrovni šumu. Tento parametr je vzájemně závislý na hodnotě BER. [1][12]

3.1.3 BER

Bitová chybovost BER (Bit Error Rate) je považována za nejdůležitější parametr pro vyhodnocení kvality příjmu signálu DVB-T. Tato hodnota je definována jako poměr chybně přijatých bitů ku celkovému počtu přijatých bitů za určitou dobu měření. Hodnota BER může být udávána v % nebo i jako bezrozměrné číslo. BER vypočteme pomocí vzorce 3.1 [12].

$$BER = \frac{bE}{vp * t}. \quad (3.1)$$

Kde bE jsou chybně přijaté bity, vp je přenosová rychlost a t je celková doba měření.

Pokud je naměřena bitová chybovost $2 \cdot 10^{-4}$, tj. 2 chybné bity z každých 10 000, měli bychom ještě přijímat obrazový i zvukový signál bez výpadků.

V našem případě je bitová chybovost měřená na přijímači a tudíž se zde projevuje chyba přenosové trasy (různé šумы apod.). Kvůli Forward Error Correction (FEC) je hodnota BER zajišťující správný příjem proměnlivá. [12]

Použitý měřicí přístroj 7866HD rozlišuje dvě různé hodnoty BER, a to BERi a BERo:

- BERi (inner - vnitřní) je BER po výstupu z demodulátoru a je to tedy CBER (channel BER, CBER, LDPC),
- BERo (out - vnější) je chybovost za Viterbiho dekodérem a je to VBER (Viterbi BER, VBER, BCH).

3.1.4 CBER

CBER (Channel Bit Error Rate) je bitová chybovost po výstupu z demodulátoru (chybovost signálu před korekcí). Tato metoda spočívá v dekódování signálu ve Viterbiho dekodéru, který je opět kódován použitím stejného konvolučního kódového schématu jako na vysílací straně s cílem dosáhnout originální datový tok jako ve vysílači. Ještě před Viterbiho dekodérem se datový tok porovnává s přijímaným signálem z demodulátoru.

Hodnota parametru CBER pro stabilní DVB-T signál by měla být $\leq 5 \cdot 10^{-3}$. [14]

3.1.5 VBER

VBER (Viterbi Bit Error Rate) je bitová chybovost za Viterbiho dekodérem (chybovost signálu za korekcí). Tuto hodnotu získáme porovnáním bitové hodnoty chybných paketů před a za Viterbiho dekodérem.

Tato hodnota je důležitá pro získání signálu bez „zamrzání a kostičkování“. Minimální parametr chybovosti VBER je $2 \cdot 10^{-4}$. Bezpečná hodnota je $\leq 9 \cdot 10^{-5}$. [14]

3.1.6 MER

Hodnota MER (Modulation Error Rate), modulační chybovost, je spolu s BER jednou ze základních kvalitativních parametrů signálu DVB-T. Jedná se o kvalitu digitální modulace. Jde o migraci koncového bodu modulačního vektoru, který je způsoben vlastnostmi přenosového kanálu (šum). Čím je migrace menší, tím je hodnota MER vyjádřená v dB větší. Tzn., že kvalita přenosového kanálu se zvyšuje. V ČR je pro modulaci 64QAM, podle vyhlášky č. 163/2008 [13], požadována hodnota 22 až 24 dB. Optimální je pak ≥ 25 dB. Pro modulaci 16QAM je to potom 16 až 18 a optimální je ≥ 19 dB. [14]

3.2 Měření signálu DVB-T

Měření bylo provedeno dvěma směrovými anténami, a to anténou Televes 1044 a TP 20. Vybráno bylo místo na okraji Ostravy-Poruby, jak znázorňuje obrázek 3.1. Měření bylo provedeno v 10 m výšce dle vyhlášky 163/2008 Sb. [13].



Obrázek 3.1 Místo měření

Celé měření bylo provedeno zapůjčeným měřicím přístrojem Sefram 7866HD, který je na obrázku 3.2. Veškeré specifikace tohoto měřicího přístroje jsou uvedeny v katalogových listech v příloze D. [24]



Obrázek 3.2 Měřicí přístroj Sefram 7866HD

Jelikož musí být měření dle vyhlášky 163/2008 Sb. [13] provedeno v 10 m výšce nad zemí, je zapotřebí výsuvného stožáru. Tento stožár je zobrazen na obrázku 3.3 a katalogový list k tomuto výsuvnému stožáru je uveden v příloze E. [25]



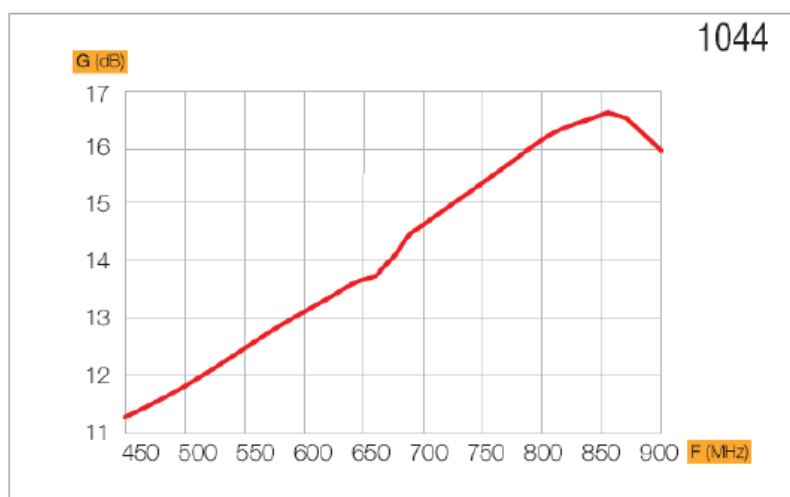
Obrázek 3.3 Výsuvný stožár SGT10HP

První přijímací anténa (obrázek 3.4) je Televes 1044. Tato anténa pracuje ve frekvenčním rozsahu 470 - 862 MHz, tedy na kanálech 21- 69. Zisk této antény je v rozsahu 11,5 - 16,5 dB, kdy maximálního zisku 16,5 dB dosahuje na frekvenci 860 MHz. Na obrázku 3.5 lze vidět průběh zisku antény v závislosti na frekvenci.

Všechny parametry této antény jsou uvedeny v katalogovém listu v příloze F. [26]



Obrázek 3.4 Anténa Televes 1044



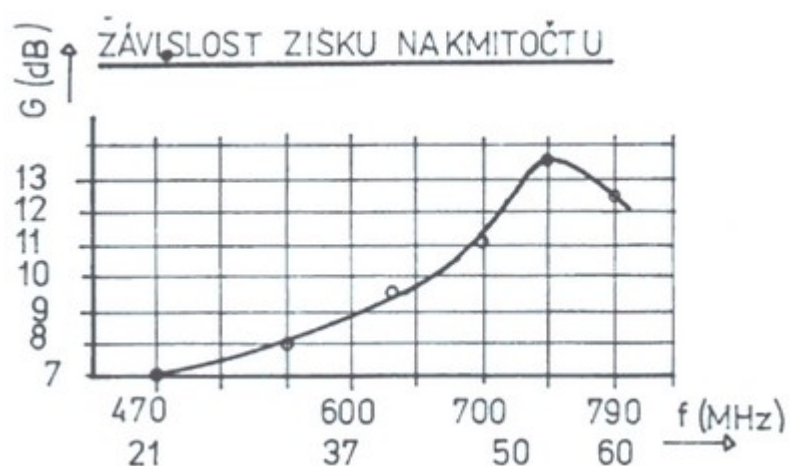
Obrázek 3.5 Průběh zisku antény Televes 1044 v závislosti na frekvenci [26]

Druhá přijímací anténa, která je na obrázku 3.6, má název TP 20. Tato anténa pracuje ve frekvenčním rozsahu 470 - 790 MHz, tedy na kanálech 21 - 60. Zisk této antény je v rozsahu 7 - 13,5 dB, kdy maximálního zisku 13,5 dB dosahuje na kmitočtu 750 MHz. Na obrázku 3.7 lze vidět průběh zisku této antény v závislosti na frekvenci.

Všechny parametry této antény jsou uvedeny v katalogovém listu v příloze G. [27]



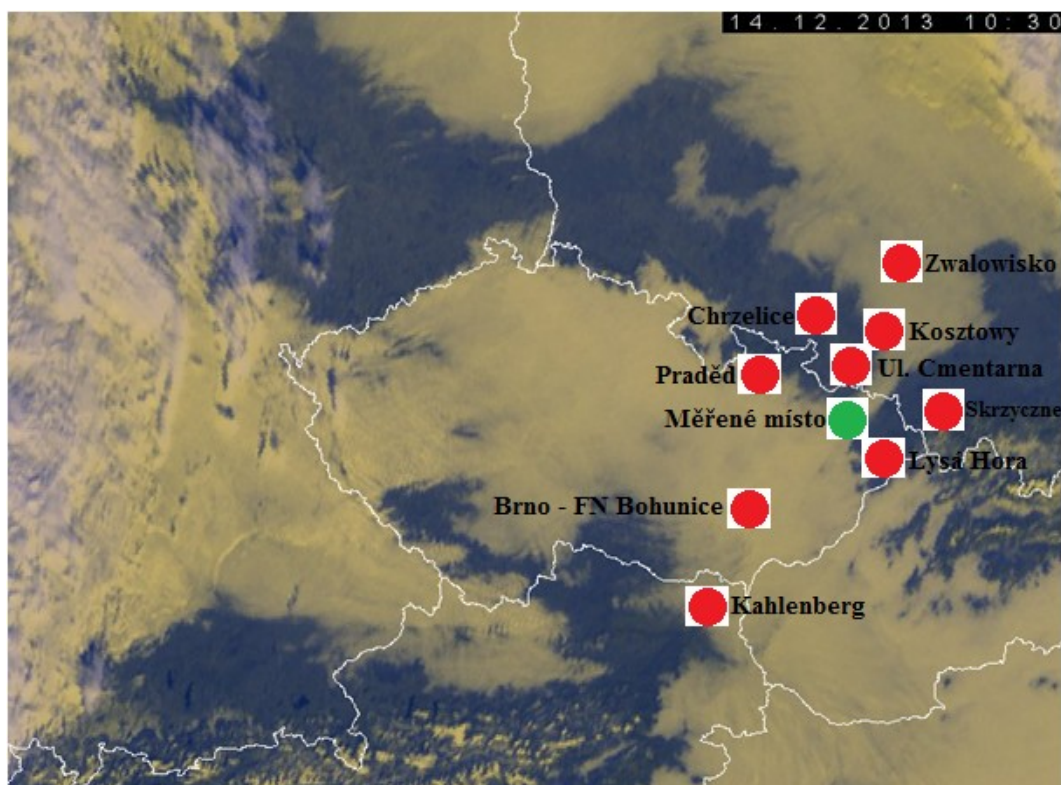
Obrázek 3.6 Anténa TP 20



Obrázek 3.7 Průběh zisku antény TP 20 v závislosti na frekvenci [27]

První měření bylo provedeno při inverzi dne 14.12.2013 ráno od 8:45 do 12:00. Pomocí web kamer z hor a lyžařských středisek bylo odhadnuto, že inverzní oblačnost končila v cca 800 metrech.

Na obrázku 3.8 jsou vyznačeny měřené vysílače spolu s měřeným místem. Původní obrázek, který pochází ze serveru chmi.cz je uveden v příloze B. Na obrázku 3.9 je vyfocena anténa TP 20 při měření v inverzi.



Obrázek 3.8 Měřené vysílače za inverze 14.12.2013



Obrázek 3.9 Anténa TP 20 při měření v inverzi

Měření v normálním počasí probíhalo dne 7.3.2014 od 8:30 do 11:30. Také při tomto měření se měřilo oběma anténami a měřilo se opět všech 9 vysílačů. Seznam měřených vysílačů spolu s vysílanými multiplexy najdeme v tabulkách 3.1 až 3.4.

Pokrytí těchto vysílačů je uvedeno v příloze C a v příloze A na obrázcích A.9 a A.10.

Tabulka 3.1 Rakouský měřený vysílač

Název vysílače	Multiplex A	Multiplex B	Multiplex D
Wien 1 - Kahlenberg	24k, 498 MHz, H, 63,1 kW	34k, 578 MHz, H, 63,1 kW	36k, 594 MHz, H, 63,1 kW

Tabulka 3.2 Polské měřené vysílače

Název vysílače	Multiplex 1	Multiplex 2	Multiplex 3
ul. Cmentarna	-	-	41k, 634 MHz, H, 32 W
Chrzelice	46k, 674 MHz, H, 100 kW	23k, 490 MHz, H, 100 kW	34k, 578 MHz, H, 100 kW
Kosztowy	55k, 746 MHz, H, 100 kW	49k, 698 MHz, H, 63 kW	41k, 634 MHz, H, 100 kW
Wisła, Skrzyczne	55k, 746 MHz, H, 100 kW	58k, 770 MHz, H, 100 kW	41k, 634 MHz, H, 60 kW
Kamieńsk - Zwałowisko	-	-	26k, 514 MHz, H, 12 kW / Mux L3 36k, 594 MHz, H, 1 kW

Tabulka 3.3 České měřené vysílače

Název vysílače	Multiplex 1	Multiplex 2	Multiplex 3
Praděd	36k, 594 MHz, H, 100 kW	53k, 730 MHz, H, 100 kW	51k, 714 MHz, H, 100 kW
Frýdek-Místek, Lysá hora	54k, 738 MHz, H, 25 kW	37k, 602 MHz, H, 25 kW	-

Tabulka 3.4 Brněnský měřený vysílač

Název vysílače	Multiplex regionální síť 13	Multiplex 4	Multiplex regionální síť 7
Brno - Jihlavská (FN Bohunice)	37k, 602 MHz, H, 100 W	46k, 674 MHz, H, 3,16 kW	47k, 682 MHz, H, 10 kW

4 Vyhodnocení naměřených výsledků

V tabulkách 4.1 až 4.18. jsou naměřené hodnoty jednotlivých vysílačů za inverze i za normálního počasí oběma přijímacími anténami. Měřené vysílače jsou rozděleny do tří skupin. První je skupina vysílačů do 100 km vzdálenosti od měřeného místa, druhou je skupina vysílačů nad 100 km vzdálenost od měřeného místa. Všechny vysílače v těchto dvou skupinách se nacházely pod inverzní hranicí, tj. pod 800 m n. m. Třetí skupina vysílačů se nacházela nad inverzní hranicí, tedy ve výšce větší než 800 m n. m.

Ve všech tabulkách (4.1 až 4.18) naměřených hodnot jsou pro větší přehlednost červeně vyznačeny hodnoty, které nesplňují minimální požadované hodnoty pro příjem TV obrazu.

4.1 Vysílače do 100 km vzdálenosti od měřeného místa

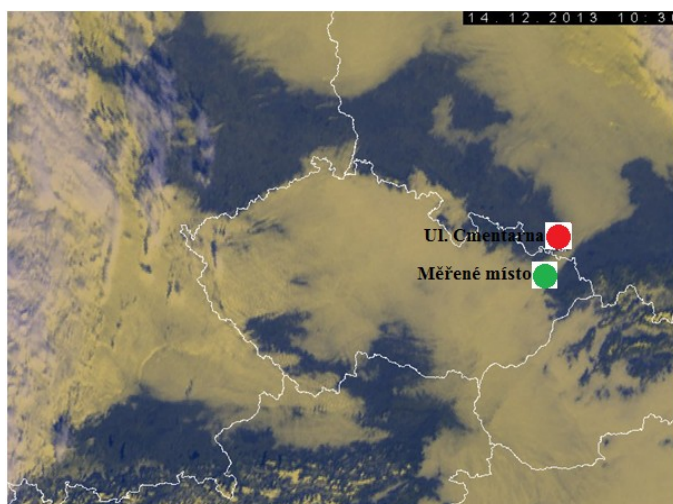
První měřený vysílač, který se nachází v Polsku a jmenuje se Ul. Cmentarna, je vzdálen 29 km a nachází se ve výšce 250 m n. m. Parametry měřeného multiplexu 3 jsou v tabulce 3.2.

Tabulka 4.1 Naměřené hodnoty vysílače Ul. Cmentarna - inverze

Inverze 14. 12. 2013	Ul. Cmentarna		634.0 MHz		k41
Typ přijímací antény	Video [dBμV]	C/N [dB]	BERi [-]	BERo [-]	MER [dB]
Televes 1044	40,4	28,0	$5,8 \cdot 10^{-3}$	$4,0 \cdot 10^{-2}$	13,1
TP 20	41,3	28,9	-	-	12,1
Minimální hodnoty pro kvalitní příjem signálu	45	20	$5 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-4}$	22

Tabulka 4.2 Naměřené hodnoty vysílače Ul. Cmentarna - normální počasí

Normální počasí 7. 3. 2014	Ul. Cmentarna		634.0 MHz		k41
Typ přijímací antény	Video [dBμV]	C/N [dB]	BERi [-]	BERo [-]	MER [dB]
Televes 1044	31,2	18,8	-	-	-
TP 20	35,7	22,3	-	-	-
Minimální hodnoty pro kvalitní příjem signálu	45	20	$5 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-4}$	22



Obrázek 4.1 Umístění vysílače Ul. Cmientarna

Na obrázku 4.1 lze vidět, že se tento vysílač nacházel pod inverzní vrstvou. Pokud porovnáme tabulky 4.1 a 4.2, vidíme, že bez inverzního počasí tento vysílač nelze zachytit ani jednou z antén. V normálním počasí se hodnota úrovně signálu pohybovala od 31,2 do 35,7 dBμV, odstup signálu od šumu od 18,8 do 22,3 dB a ostatní hodnoty jako jsou BER a MER nebyly ani zobrazeny. Kdežto v inverzním počasí hodnota úrovně signálu vzrostla o necelých 10 dBμV a také odstup signálu zaznamenal podobný vzestup u obou antén. I když obraz stále nebylo možné přijímat, protože nebyl dostatečně zesílen, tak už se zobrazily hodnoty BER a MER u přijímací antény Televes 1044 (stále ale v červených číslech). Aby se obraz zobrazil, musela by se hodnota MER zvětšit alespoň o 7 dB a BER by musel být ještě alespoň o jeden až dva řády menší. U antény TP 20 se měřené parametry také zvětšily, ale hodnoty BER a MER se ani tak nezobrazily.

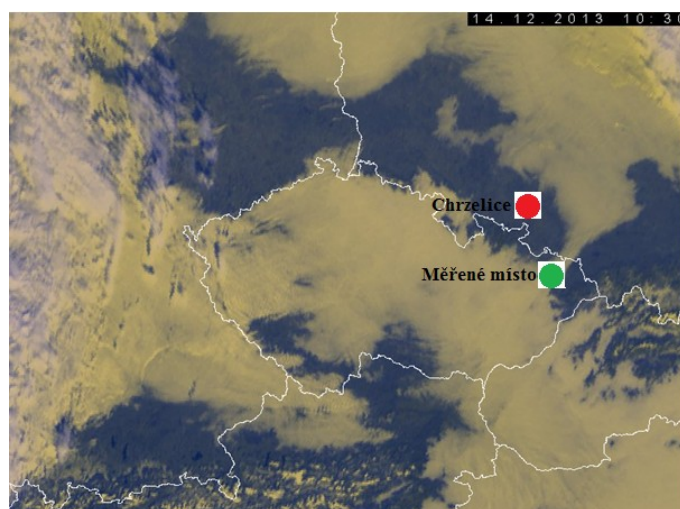
Další měřený vysílač, Chrzelice, který se taktéž nachází v Polsku, se nachází v 80 km vzdálenosti a je ve výšce 188 m n. m. Parametry měřeného multiplexu 2 jsou v tabulce 3.2.

Tabulka 4.3 Naměřené hodnoty vysílače Chrzelice - inverze

Inverze 14. 12. 2013	Chrzelice		490.0 MHz		k23
Typ přijímací antény	Video [dBμV]	C/N [dB]	BERi [-]	BERo [-]	MER [dB]
Televes 1044	17,4	4,0	-	-	-
TP 20	21,1	8,7	-	-	-
Minimální hodnoty pro kvalitní příjem signálu	45	20	$5 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-4}$	22

Tabulka 4.4 Naměřené hodnoty vysílače Chrzelice - normální počasí

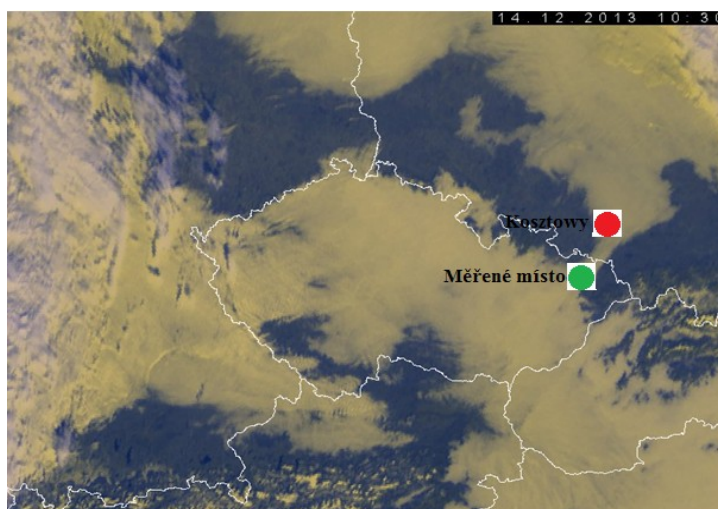
Normální počasí 7. 3. 2014	Chrzelice		490.0 MHz		k23
Typ přijímací antény	Video [dBμV]	C/N [dB]	BERi [-]	BERo [-]	MER [dB]
Televes 1044	16,2	3,8	-	-	-
TP 20	20,2	7,8	-	-	-
Minimální hodnoty pro kvalitní příjem signálu	45	20	$5 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-4}$	22



Obrázek 4.2 Umístění vysílače Chrzelice

Z obrázku 4.2 je jasné, proč se nepodařilo přijmout dostatečně silný signál ani v inverzním počasí. Tento vysílač se totiž nacházel mimo inverzi. Proto se naměřené hodnoty za inverze a v normálním počasí, které jsou v tabulkách 4.3 a 4.4, téměř neliší. Hodnota úrovně signálu se pohybovala jen okolo 20 dBμV a odstup signálu od šumu byl velice malý a pohyboval se okolo 4 dB u Televes 1044 a u TP 20 okolo 8 dB. Přijímací anténa TP 20 dosáhla jen o málo lepších výsledků.

Na polské straně je i vysílač Kosztowy, který je vzdálen 78 km a je ve výšce 308 m n. m. Parametry tohoto přijímaného multiplexu 3 jsou také v tabulce 3.2. Naměřené hodnoty jsou v tabulkách 4.5 a 4.6. Porovnáním těchto tabulek vidíme, že inverzní počasí opravdu zapůsobilo a dle obrázku 4.3 je zjevné proč.



Obrázek 4.3 Umístění vysílače Kosztowy

Tento vysílač se nacházel na přímé linii v inverzi od měřeného místa. Za normálního i inverzního počasí se naměřené hodnoty u Televes 1044 příliš nelišili. Signál byl pro tuto anténu příliš slabý nejspíše proto, že se zde objevilo až příliš mnoho odrazů, které způsobila nejspíše inverze. Úroveň signálu se pohybovala okolo 20 dB μ V a C/N okolo 7,7 dB. U antény TP 20 za normálního počasí se hodnota úrovně signálu pohybovala okolo 20 dB μ V a odstup signálu od šumu byl o něco větší, tj. 14,8 dB. Kdežto za inverzního počasí se anténě TP 20 podařilo přijmout silný signál, kde se hodnoty BER a MER pohybovaly v jejich minimech pro příjem obrazu. To je také vidět v tabulce 4.5, kde jsou jen dvě červená čísla a ta se blíží k minimální hodnotě. Na obrázku 4.4 je vyfocen obraz z TV, který byl pořízen díky anténě TP 20 v inverzi, i když nebyl úplně stabilní.

Tabulka 4.5 Naměřené hodnoty vysílače Kosztowy - inverze

Inverze 14. 12. 2013	Kosztowy		634.0 MHz		k41
Typ přijímací antény	Video [dB μ V]	C/N [dB]	BERi [-]	BERo [-]	MER [dB]
Televes 1044	20,4	8,0	-	-	-
TP 20	41,3	28,9	$3,3 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-6}$	17,6
Minimální hodnoty pro kvalitní příjem signálu	45	20	$5 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-4}$	22

Tabulka 4.6 Naměřené hodnoty vysílače Kosztowy - normální počasí

Normální počasí 7. 3. 2014	Kosztowy		634.0 MHz		k41
Typ přijímací antény	Video [dBμV]	C/N [dB]	BERi [-]	BERo [-]	MER [dB]
Televes 1044	17,2	6,8	-	-	-
TP 20	20,2	14,8	-	-	-
Minimální hodnoty pro kvalitní příjem signálu	45	20	$5 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-4}$	22



Obrázek 4.4 Zachycená TV z vysílače Kosztowy při inverzi

V inverzním pásu se také nacházel vysílač v Brně, který je vzdálen 73 km a je ve výšce 281 m n. m. Informace o přijímaném multiplexu Regionální síť je v tabulce 3.4.

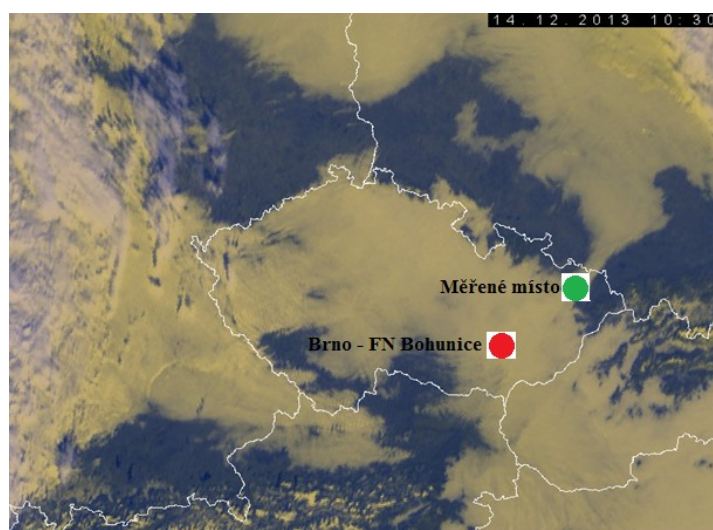
Vysílání tohoto vysílače nelze za normálních okolností zachytit, jak ukazují naměřené parametry v tabulce 4.8 a jak je uvedeno v příloze C, kde je vykreslen dosah signálu. Díky inverznímu počasí se ale tento signál dostal až na měřené místo díky tomu, že se nacházel v inverzním pásu jak ukazuje obrázek 4.5. Signál díky inverzi zesílil na tolik, že naměřené parametry nebyly v červených číslech, jak ukazuje tabulka 4.7. Tento signál se podařilo zachytit ale jen s anténou TP 20 a to nejspíše proto, že tato anténa má významně užší vyzařovací diagram než anténa Televes 1044. Odstup signálu od šumu byl při maximech dostačující, protože dosahoval hodnoty 38,5 dB. Signál byl ale celkově natolik nestabilní a měřené parametry se natolik vychylovaly, že se TV obraz nepodařilo vyfotit, protože se objevoval velice náhodně (spíše jen pár kostiček) a jen na krátké chvíle.

Tabulka 4.7 Naměřené hodnoty vysílače Brno - FN Bohunice - inverze

Inverze 14. 12. 2013	Brno - FN Bohunice		602.0 MHz		k37
Typ přijímací antény	Video [dBμV]	C/N [dB]	BERi [-]	BERo [-]	MER [dB]
Televes 1044	-	-	-	-	-
TP 20	51,9	38,5	$2,0 \cdot 10^{-4}$	$2 \cdot 10^{-6}$	23,7
Minimální hodnoty pro kvalitní příjem signálu	45	20	$5 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-4}$	22

Tabulka 4.8 Naměřené hodnoty vysílače Brno - FN Bohunice - normální počasí

Normální počasí 7. 3. 2014	Brno - FN Bohunice		602.0 MHz		k37
Typ přijímací antény	Video [dBμV]	C/N [dB]	BERi [-]	BERo [-]	MER [dB]
Televes 1044	-	-	-	-	-
TP 20	-	-	-	-	-
Minimální hodnoty pro kvalitní příjem signálu	45	20	$5 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-4}$	22



Obrázek 4.5 Umístění vysílače Brno - FN Bohunice

U těchto měřených vysílačů, od kterých běžně za normálního počasí nelze signál přijímat, dominovala anténa TP 20, díky které byl možný příjem TV obrazu digitální televize z Kosztowy a zesílený signál (bez TV) z Brna pouze v inverzním počasí. To anténa Televes 1044 nedokázala. Je tomu tak nejspíše proto, že anténa Televes 1044 má širší vyzařovací diagram než anténa TP 20 a je více náročnější na homogenitu elektromagnetického pole. Televes 1044 dokázala přijmout silnější signál v inverzním počasí pouze z vysílače Ul. Cmentarna, který se nacházel v blízké vzdálenosti od měřeného místa. Projevila se zde tedy větší ziskovost přijímací antény Televes 1044.

4.2 Vysílače nad 100 km vzdálenosti od měřeného místa

Vysílač v Polsku, který se jmenuje Zwalowisko, je vzdálen 177 km a je ve výšce 387 m n. m. Na obrázku 4.6 lze vidět, že se vysílač sice nacházel pod inverzní oblačností, ale inverzní oblačnost v přímém směru od místa měření nebyla celistvá a dostatečně rozsáhlá, a proto se tento vysílač nejspíše nepodařilo ani za inverze zachytit s lepšími výsledky. Porovnáním naměřených parametrů v tabulkách 4.9 a 4.10 lze vidět sice mírný vzestup síly signálu, ale toto zesílení nebylo ani zdaleka dostačující. Za normálního počasí se hodnoty úrovně signálu pohybovaly okolo 12 dB μ V a hodnoty C/N okolo 3 dB. Za inverze hodnoty úrovně signálu vzrostly na hodnoty kolem 18 dB μ V a hodnota C/N vzrostla na hodnoty kolem 6 dB. Stále to jsou ale hodnoty hluboko pod požadovaným minimem a ostatní parametry se ani nezobrazily.

Tabulka 4.9 Naměřené hodnoty vysílače Zwalowisko - inverze

Inverze 14. 12. 2013	Zwalowisko		514.0 MHz		k26
Typ přijímací antény	Video [dB μ V]	C/N [dB]	BERi [-]	BERo [-]	MER [dB]
Televes 1044	17,6	5,2	-	-	-
TP 20	18,3	5,9	-	-	-
Minimální hodnoty pro kvalitní příjem signálu	45	20	$5 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-4}$	22

Tabulka 4.10 Naměřené hodnoty vysílače Zwalowisko - normální počasí

Normální počasí 7. 3. 2014	Zwalowisko		514.0 MHz		k26
Typ přijímací antény	Video [dBμV]	C/N [dB]	BERi [-]	BERo [-]	MER [dB]
Televes 1044	11,1	3,2	-	-	-
TP 20	12,2	3,4	-	-	-
Minimální hodnoty pro kvalitní příjem signálu	45	20	$5 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-4}$	22



Obrázek 4.6 Umístění vysílače Zwalowisko

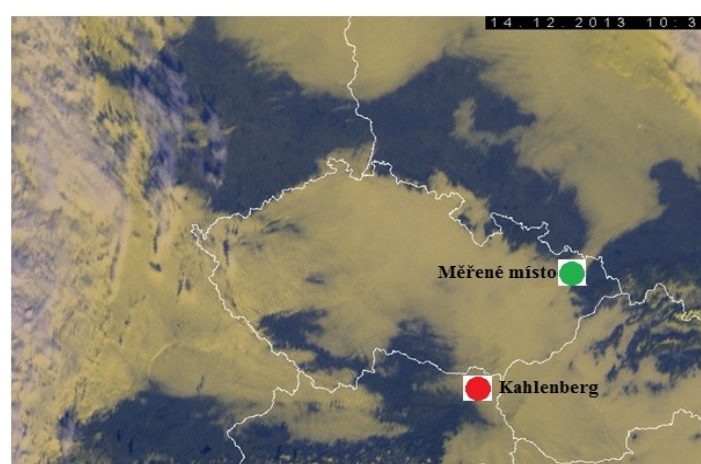
Změřen byl také vysílač jménem Kahlenberg v Rakousku u Vídně. Tento vysílač je vzdálen 220 km a nachází se ve výšce 484 m n. m. a za normálního počasí jej nelze v žádném případě v místě měření zachytit. To také dokazuje tabulka 4.12 a vykreslení dosahu signálu v příloze C. Ale jsou zprávy z Havířova, že jej za inverzního počasí zachytit lze a dokonce i několik hodin sledovat rakouskou televizi. Z tabulky 4.11 lze vyčíst, že jediná anténa TP 20 dokázala za inverze zachytit úroveň signálu tohoto vysílače v hodnotě 32,7 dBμV a hodnotu C/N 18,3 dB. Zde tedy vliv inverze zafungoval lépe, než tomu bylo u polského vysílače Zwalowisko a příjem slabého signálu byl tedy umožněn. Je tomu tak proto, že inverze pro tento vysílač byla příhodnější než u předešlého vysílače, jak ukazuje obrázek 4.7, ale ne ideální. Inverze by nejspíše musela být větší a mohutnější a rozdíl teplot větší, aby rozdíl indexu lomu mezi vrstvami byl markantnější a signál byl dostatečně zesílen.

Tabulka 4.11 Naměřené hodnoty vysílače Kahlenberg - inverze

Inverze 14. 12. 2013	Wien 1 - Kahlenberg		594.0 MHz		k36
Typ přijímací antény	Video [dBμV]	C/N [dB]	BERi [-]	BERo [-]	MER [dB]
Televes 1044	-	-	-	-	-
TP 20	32,7	18,3	-	-	-
Minimální hodnoty pro kvalitní příjem signálu	45	20	$5 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-4}$	22

Tabulka 4.12 Naměřené hodnoty vysílače Kahlenberg - normální počasí

Normální počasí 7. 3. 2014	Wien 1 - Kahlenberg		594.0 MHz		k36
Typ přijímací antény	Video [dBμV]	C/N [dB]	BERi [-]	BERo [-]	MER [dB]
Televes 1044	-	-	-	-	-
TP 20	-	-	-	-	-
Minimální hodnoty pro kvalitní příjem signálu	45	20	$5 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-4}$	22



Obrázek 4.7 Umístění vysílače Kahlenberg

I u těchto nejvzdálenějších vysílačů dosahovala lepších výsledků anténa TP 20, která dokázala signál přijmout lépe než Televes 1044. Pro dálkový příjem se tedy ukazuje, že je lepší anténa TP 20, která je skoro 2x delší než Televes 1044 a má výrazně užší vyzářovací diagram.

4.3 Vysílače v nadmořské výšce větší než 800 m n. m.

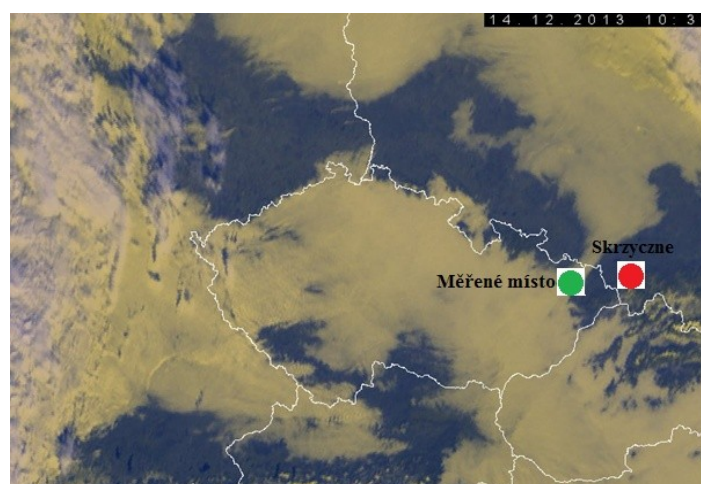
Vysílač Skrzyczne v Polsku je vzdálen 64 km a je ve výšce 1249 m n. m. Parametry multiplexu 3 jsou v tabulce 3.2. Naměřené hodnoty jsou v tabulkách 4.13 a 4.14. Signál z tohoto vysílače lze přijímat na Ostravsku a okolí zcela bez problému i za normálního počasí. To je zjevné z tabulky 4.14, kdy byl příjem dostatečně silný oběma přijímacími anténami. Při měření v inverzním počasí se hodnoty ale zlepšily. Hodnota BER zůstala u antény TP 20 skoro nezměněna, kdežto u antény Televes 1044 se zlepšila o 5 řádů. U této antény vzrostla úroveň signálu rapidně o 15,9 dBμV, u TP 20 to bylo jen o 3,4 dBμV. Také odstup signálu od šumu vzrostl u Televes 1044 o mnohem více (o 14,9 dBμV) než u TP 20 (o 2,4 dBμV). Hodnota MER vzrostla podobným způsobem. Z těchto výsledků a z obrázku 4.8 je jasné, že i když se vysílač nenachází pod inverzní vrstvou, signál inverzní vrstvou projde a v tu chvíli je díky rozdílu indexu lomu v inverzní hranici zachycen a tím zesílen. Od tohoto vysílače lze tedy přijímat v inverzním počasí kvalitnější signál. Z naměřených výsledků je ale zjevné, že je lepší použít anténu s větším ziskem, jako je anténa Televes 1044, než anténu sice s větší směrovností, jako je TP 20, ale s menším ziskem.

Tabulka 4.13 Naměřené hodnoty vysílače Skrzyczne - inverze

Inverze 14. 12. 2013	Skrzyczne		634.0 MHz		k41
Typ přijímací antény	Video [dBμV]	C/N [dB]	BERi [-]	BERo [-]	MER [dB]
Televes 1044	58,5	45,1	$2 \cdot 10^{-8}$	$2 \cdot 10^{-6}$	33,2
TP 20	43,8	31,4	$5,1 \cdot 10^{-4}$	$2 \cdot 10^{-6}$	21,6
Minimální hodnoty pro kvalitní příjem signálu	45	20	$5 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-4}$	22

Tabulka 4.14 Naměřené hodnoty vysílače Skrzyczne - normální počasí

Normální počasí 7. 3. 2014	Skrzyczne		634.0 MHz		k41
Typ přijímací antény	Video [dBμV]	C/N [dB]	BERi [-]	BERo [-]	MER [dB]
Televes 1044	42,6	30,2	$2,3 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-6}$	18,7
TP 20	40,4	29,0	$4,9 \cdot 10^{-3}$	$4,0 \cdot 10^{-2}$	13,3
Minimální hodnoty pro kvalitní příjem signálu	45	20	$5 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-4}$	22



Obrázek 4.8 Umístění vysílače Skrzyczne

V ČR se nachází vysílač na Lysé hoře, který je vzdálen od měřeného místa jen 37 km a je ve výšce 1323 m. n. m. Také tento vysílač lze bezproblémově zachytit za normálního počasí. Po porovnání tabulek 4.15 a 4.16 docházíme ke stejnému výsledku jako v předchozím případě u polského vysílače. Podle očekávání vzrostla úroveň signálu při inverzním počasí, protože signál prošel inverzní bariérou a jelikož je spodní vrstva chladnější a vlhčí než horní teplá suchá vrstva, tak je mezi vrstvami rozdíl v indexu lomu. Tím je signál zadržen ve spodní vrstvě s větším indexem lomu a není tak rozptýlen po prostoru. Zde je opět signál silnější u přijímací antény Televes 1044. Hodnota úrovně signálu vzrostla o 11,3 dBμV a odstup signálu od šumu o 12,3 dB. Hodnota MER vzrostla dvojnásobně na hodnotu 27,9 dB. U přijímací antény TP 20 byl vzrůst těchto hodnot zhruba poloviční, až na hodnotu MER, která vzrostla z 13,2 dB na 30,9 dB. Také zde se projevila větší ziskovost antény Televes 1044, a protože se vysílač nachází blíže k měřenému místu, jsou naměřené hodnoty lepší než u polského vysílače Skrzyczne. Umístění tohoto vysílače je na obrázku 4.9.

Tabulka 4.15 Naměřené hodnoty vysílače Lysá hora - inverze

Inverze 14. 12. 2013	Lysá hora		602.0 MHz		k37
Typ přijímací antény	Video [dBμV]	C/N [dB]	BERi [-]	BERo [-]	MER [dB]
Televes 1044	61,7	49,3	$3,7 \cdot 10^{-6}$	$2 \cdot 10^{-6}$	27,9
TP 20	55,3	40,9	$3,8 \cdot 10^{-7}$	$2 \cdot 10^{-6}$	30,9
Minimální hodnoty pro kvalitní příjem signálu	45	20	$5 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-4}$	22

Tabulka 4.16 Naměřené hodnoty vysílače Lysá hora - normální počasí

Normální počasí 7. 3. 2014	Lysá hora		602.0 MHz		k37
Typ přijímací antény	Video [dBμV]	C/N [dB]	BERi [-]	BERo [-]	MER [dB]
Televes 1044	50,4	37,0	$2,2 \cdot 10^{-4}$	$2 \cdot 10^{-6}$	13,6
TP 20	48,7	35,5	$1,3 \cdot 10^{-4}$	$2 \cdot 10^{-6}$	13,2
Minimální hodnoty pro kvalitní příjem signálu	45	20	$5 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-4}$	22



Obrázek 4.9 Umístění vysílače Lysá hora

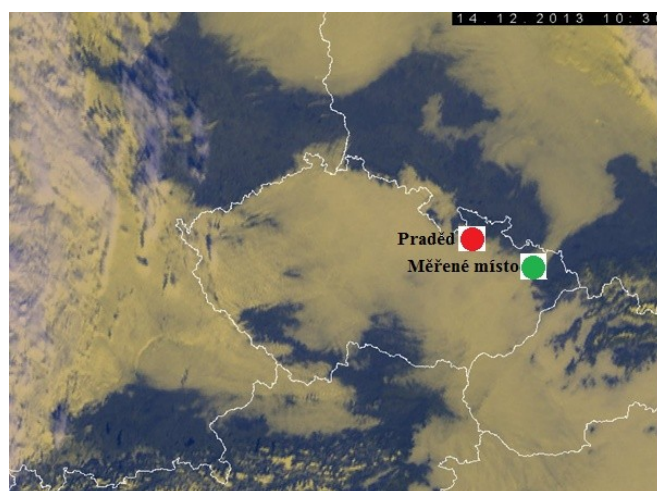
Nakonec byl změřen vysílač Praděd, který je ve výšce 1490 m n .m. a je vzdálen 73 km. I zde se opakuje podobný scénář. Zachycení tohoto vysílače je v místě měření a okolí Ostravy bez problému. Přijímací anténa TP 20 při inverzním počasí naměřila lepší výsledky než za normálního počasí, i když vzrůst hodnot nebyl až tak velký jako v minulém případě. Úroveň signálu vzrostla jen o 2,9 dB μ V, C/N vzrostl o 3,9 dB a MER o 3,6 dB. I zde u těchto blízkých a výkonných vysílačů dominovala přijímací anténa Televes 1044, kdy za normálního počasí naměřila mnohem lepší výsledky než anténa TP 20. Bohužel na konci měření v inverzi se vyskytl technický problém a nebylo již možné doměřit vysílač Praděd anténou Televes 1044, proto tyto hodnoty v tabulce 4.17 chybí. Dá se ale předpokládat, že by se hodnota úrovně užitečného signálu opět pohybovala okolo 60 - 70 dB μ V, možná více, protože se vysílač Praděd nacházel přímo nad inverzní hranicí, jak ukazuje obrázek 4.10. Naměřené hodnoty lze nalézt v tabulkách 4.17 a 4.18.

Tabulka 4.17 Naměřené hodnoty vysílače Praděd - inverze

Inverze 14. 12. 2013	Praděd		730.0 MHz		k53
Typ přijímací antény	Video [dBμV]	C/N [dB]	BERi [-]	BERo [-]	MER [dB]
Televes 1044	-	-	-	-	-
TP 20	45,4	33,0	$3,1 \cdot 10^{-4}$	$2 \cdot 10^{-6}$	22,3
Minimální hodnoty pro kvalitní příjem signálu	45	20	$5 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-4}$	22

Tabulka 4.18 Naměřené hodnoty vysílače Praděd - normální počasí

Normální počasí 7. 3. 2014	Praděd		730.0 MHz		k53
Typ přijímací antény	Video [dBμV]	C/N [dB]	BERi [-]	BERo [-]	MER [dB]
Televes 1044	54,0	39,6	$5,9 \cdot 10^{-7}$	$2 \cdot 10^{-6}$	29,8
TP 20	42,5	29,1	$2,4 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-6}$	18,7
Minimální hodnoty pro kvalitní příjem signálu	45	20	$5 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-4}$	22



Obrázek 4.10 Umístění vysílače Praděd

U těchto tří vysílačů, které se nacházely nad inverzní hranicí, jasně dominovala přijímací anténa Televes 1044, která dokázala přijímat signál znatelně silnější než anténa TP 20. Je tomu tak proto, že anténa Televes 1044 má větší ziskovost než anténa TP 20. TP 20 má menší ziskovost, ale zato má užší vyzařovací diagram a proto se díky jejím vlastnostem více hodí pro dálkový příjem.

Také je z měření těchto vysílačů jasné, že inverze opravdu funguje a dokáže zachytit rozptýlené vlny díky rozdílu indexu lomu na hranici inverzní vrstvy. Tyto zachycené (již ne tak rozptýlené) elektromagnetické vlny se díky tomu dokážou odrážet od inverzní hranice a od povrchu země a dopravit je na větší vzdálenost.

Vykreslení pokrytí signálem ze všech vysílačů pochází ze serveru dvbmap.eu [23] a bylo překontrolováno s pokrytím, které mají k dispozici poskytovatelé.

Závěr

Hlavním tématem této diplomové práce byl dálkový příjem pozemní digitální televize DVB-T a také možnost příjmu DVB-T ze zahraničí.

Jak je popsáno v první kapitole, vysílačů ze sousedních států ČR, ze kterých lze signál DVB-T přijmout, je více. Jedná se hlavně o vysílače maximálně několik desítek kilometrů vzdálených od hranic ČR. Existují ale i příjmy pozemního digitálního vysílání z mnohem vzdálenějších míst. Příjem DVB-T z těchto vzdálených zahraničních míst zkouší tzv. „*Lovci signálů*“. Tato skupina lidí, nejen v České republice, se každoročně o tyto příjmy pokouší a poté publikují své výsledky, ve kterých dávají vědět jak vzdálený signál se jim podařilo přijmout. Tyto dálkové příjmy jsou v ČR běžné a jsou možné díky inverznímu počasí.

Proč a jak inverzní počasí ovlivňuje šíření elektromagnetických vln je vysvětleno v druhé kapitole. Je zde popsáno vytvoření inverzní hranice mezi studenou vrstvou vzduchu v nížinách a teplou vrstvou vzduchu, která je na studenou vrstvu nasunuta. Je zde vysvětleno, že díky této vytvořené inverzní hranici, která rozděluje dvě vrstvy vzduchu s rozdílnými indexy lomu, se elektromagnetické vlny šíří ve studené vrstvě s větším indexem lomu a od této hranice se poté mohou odrážet a zalomovat. Dále je popsána tvorba vlnovodu, díky kterému je tento dálkový příjem možný.

V třetí kapitole je provedena příprava na měření, vysvětleny měřené parametry, sepsány základní informace o použitých anténách a měřicím přístroji.

Samotné měření je sepsáno v kapitole čtvrté, tedy poslední části této diplomové práce. Měřené vysílače byly rozděleny do tří skupin - vysílače do 100 km vzdálenosti od měřeného místa, nad 100 km od měřeného místa a vysílače, které se nacházely nad inverzní oblačností v nadmořské výšce větší než 800 m n. m.

Signál z měřených vysílačů v první skupině (do 100 km vzdálenosti) není možné za normálního počasí přijímat. Z porovnání výsledků měření vyplynulo, že za inverzního počasí se u všech vysílačů měřené parametry posunuly blíže k minimálním hodnotám pro kvalitní příjem. Nejmenšího zlepšení dosáhl vysílač Chrzelice, protože se nacházel mimo inverzní pás. Naopak největšího zesílení přijímaného signálu vykázal vysílač Kosztowy, z kterého bylo možné sledovat TV obraz, ale jen s anténou TP 20. Dalším velkým překvapením byl příjem signálu z Brna. Měřené parametry ale hodně kolísaly, a proto nebylo možné udělat snímek TV obrazu. U tří ze čtyř vysílačů vykazovala lepších výsledků anténa TP 20 než anténa Televes 1044. Anténě Televes 1044 se podařilo přijmout silnější signál pouze z vysílače Ul. Cmentarna, který byl nejbližší. Je tomu tak proto, že tato anténa má větší ziskovost. Anténa TP 20 má užší vyzařovací diagram a nejspíše proto se jí daří přijímat lepší signál ze vzdálenějších vysílačů než anténě Televes 1044.

Obdobných výsledků bylo dosaženo u druhé skupiny (nad 100 km vzdálenost). Opět lepších výsledků, hlavně v inverzním počasí, dosahovala anténa TP 20. U vzdáleného polského vysílače Zwalowisko bylo zlepšení úrovně signálu nepatrné. Inverzní oblačnost totiž v přímém směru od místa měření nebyla celistvá (musela by být rozsáhlejší do stran), a proto se tento vysílač nepodařilo ani za inverze zachytit s lepšími výsledky. Dalším měřeným vysílačem, který nelze za normálního počasí zachytit, byl Vídeňský vysílač Kahlenberg. V příhodném inverzním počasí je na Ostravsku a v Havířově možné z něj signál přijímat. To se také potvrdilo, kdy v inverzním počasí dne 14. 12. 2013 byl signál přijat. Signál byl ale velice slabý. Jak již bylo zmíněno, lepších výsledků u těchto dálkových příjmů dosahovala opět anténa TP 20.

I u třetí skupiny (vysílače v nadmořské výšce větší než 800 m n. m.) se opět potvrdil vliv inverzního počasí, kdy u všech měřených vysílačů byl příjem signálu lepší. Ze všech měřených vysílačů z této skupiny lze signál přijímat i za normálního počasí. Ale v inverzním počasí byly elektromagnetické vlny zachyceny ve spodní studené vrstvě s větším indexem lomu a díky tomu nebyly tolik rozptýleny a signál byl tím silnější. Projevila se zde ale větší ziskovost antény Televes 1044, kdy úroveň užitečného signálu u této antény vzrostla o mnohem více než u TP 20.

Anténa Televes 1044 je tedy díky své ziskovosti lepší pro příjem signálu z bližších vysílačů a anténa TP 20 dosahuje lepších výsledků u vzdálenějších vysílačů, z kterých je přijímaný signál slabý.

Bohužel kvůli nestandardní zimě která letos proběhla, bylo provedeno jen jedno měření v inverzním počasí. Předpokládalo se, že po prvním měření v inverzním počasí které proběhlo dne 14. 12. 2013, proběhnou v lednu a v únoru další klasické inverzní dny. Tyto dny ale bohužel již nenastaly a z tohoto důvodu nebylo provedeno další měření v inverzním počasí.

Jako pokračování této práce by bylo zajímavé vyzkoušet měření ve dvou navzájem blízkých místech, kdy první místo by se nacházelo pod inverzní oblačností a druhé nad inverzní oblačností. Ukázalo by se, jaký vliv má inverzní počasí na příjem signálu DVB-T, pokud se nacházíme pod nebo nad inverzní hranicí.

Použitá literatura

- [1] LEGÍŇ, Martin. *Televizní technika DVB-T*. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2006, 286 s. ISBN 80-730-0204-3.
- [2] BEDNÁŘ, Jiří a Pavel GREGORA. *Příjem DVB-T*. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2007, 134 s. ISBN 978-80-7300-221-3.
- [3] Inverze: do Česka dorazily signály ze severu i jihu Evropy. *Digizone.cz* [online]. 2007 [cit.2013-05-18]. Dostupné z: <http://www.digizone.cz/clanky/do-ceska-minuly-tyden-dorazily-signaly/>
- [4] Mimořádné způsoby šíření v troposféře[1977]. *Ok2kkw.com* [online]. 2006 [cit. 2014-02-20]. Dostupné z: <http://www.ok2kkw.com/rz1977/tropo1977.htm>
- [5] Specifické charakteristiky šíření rádiových vln v pozemních kanálech. *Radio.feld.cvut.cz* [online]. [cit. 2013-05-18]. Dostupné z: http://radio.feld.cvut.cz/personal/mikulak/MK/MK05_semestralky/19Specifika_sireni.pdf
- [6] Druhy šíření rádiových vln. *Fei1.vsb.cz* [online]. [cit. 2013-05-18]. Dostupné z: http://fei1.vsb.cz/kat420/vyuka/FEI/sireni_vln/teze/otazka_13.pdf
- [7] ŠEBESTA, Roman. Rádiové buňkové sítě: Přednáška 1. *Rádiové buňkové sítě: Elektromagnetické pole, druhy rádiových vln*,. 2013.
- [8] Český radioklub. *Šíření rádiových signálů*, *crk.cz* [online]. 2006 [cit. 2013-05-19]. Dostupné z: <http://www.crk.cz/CZ/SIRENIC>
- [9] Čím se liší standard DVB-T2 od dnešního DVB-T?. *Digizone.cz* [online]. 2009 [cit. 2013-12-01]. Dostupné z: Dostupné z: <http://www.digizone.cz/clanky/cim-se-lisi-standard-dvb-t2-od-dnesniho-dvb-t/>
- [10] Seriál o DVB-T2: 1.díl - Proč DVB-T2. *Digitalnitemlevize.cz*. [online]. 2010 [cit. 2013-12-01]. Dostupné z: <http://www.digitalnitemlevize.cz/magazin/obecne/mala-encyklopedie-televizni-techniky/2010-12-serial-o-dvb-t2-proc-dvb-t2.html?retezec=plp>
- [11] Přejít na vysílání DVB-T2 by měl řídit stát, zavedení potrvá roky. *E-svet.e15.cz* [online]. 2013 [cit. 2013-12-01]. Dostupné z: <http://e-svet.e15.cz/technika/prechod-na-vysilani-dvb-t2-by-mel-ridit-stat-zavadeni-potrva-roky-1035579>
- [12] Měření anténního signálu. *Dipolnet.cz*. [online]. [cit. 2013-12-01]. Dostupné z: http://www.dipolnet.cz/mereni_antenniho_signalu_bib09.htm

-
- [13] Předpis č. 163/2008 Sb: Vyhláška o způsobu stanovení pokrytí signálem zemského televizního vysílání. *Zakonprolidi.cz* [online]. 2008 [cit. 2013-12-01]. Dostupné z: <http://www.zakonprolidi.cz/cs/2008-163>
- [14] Měření digitálních signálů DVB-T. *Profidigital.cz* [online]. 2008 [cit. 2013-12-01]. Dostupné z: <http://www.profidigital.cz/homepage/56-mereni-digitalniho-signalu-dvb-t.html>
- [15] Příjem digitální televize DVB-T. *Omko.cz* [online]. [cit. 2014-02-05]. Dostupné z: <http://www.omko.cz/prijem-digitalni-televize-dvb-t/>
- [16] Na lovu digitálních signálů nejen z Tyrolska na šumavské Kvildě. *Digizone.cz* [online]. 2009 [cit. 2014-02-05]. Dostupné z: <http://www.digizone.cz/clanky/za-digitalnimi-signaly-nejen-z-tyrolska-na/>
- [17] Inverzní počasí a dálkový příjem DVB-T (3.). *Parabola.cz* [online]. 2012 [cit. 2014-02-05]. Dostupné z: <http://www.parabola.cz/clanky/4814/inverzni-pocasi-a-dalkovy-prijem-dvb-t-3/>
- [18] Inverze a dálkový příjem v UHF. *Forum.digizone.cz* [online]. 2013 [cit. 2014-02-05]. Dostupné z: <http://forum.digizone.cz/index.php?topic=3653.0>
- [19] ČERNOHORSKÝ, Dušan, Zdeněk NOVÁČEK a Zbyněk RAIDA. *Elektromagnetické vlny a vedení*. 2. vyd. Brno: VUTIM, 1999. ISBN 80-214-1261-5.
- [20] ČERNOHORSKÝ, Dušan. *Antény a šíření elektromagnetických vln*. 2. vyd. Brno: VUT, 1992. ISBN 80-214-0379-9.
- [21] Horizontální nebo vertikální polarizace u DVB-T. Co je lepší?. *Digizone.cz* [online]. 2008 [cit. 2014-03-03]. Dostupné z: <http://www.digizone.cz/clanky/horizontalni-nebo-vertikalni-polarizace-u-dvb-t/>
- [22] Kmitočty pro LTE jsou rozdány, co ale obavy ze vzájemného rušení s DVB-T. *Digizone.cz* [online]. 2013 [cit. 2014-03-03]. Dostupné z: <http://www.digizone.cz/clanky/kmitocty-pro-lte-jsou-rozdany-co-ale-obavy-ze-vzajemneho-ruseni-s-dvb-t/>
- [23] DVBT: Interactive DVB-T map. *Dvbtmap.eu* [online]. [cit. 2014-03-11]. Dostupné z: <http://www.dvbtmap.eu/transmitterlist.html>
- [24] Katalogový list Sefram 7866HD. *Skt-testing.gr* [online]. 2006 [cit. 2014-04-18]. Dostupné z: http://www.skt-testing.gr/datafiles/file/BK_SEFRAM/TV%20Meters/7866HD.pdf
- [25] Katalogový list výsuvného stožáru SQT10HP. *Clarkmasts.com* [online]. 2006 [cit. 2014-04-18]. Dostupné z: http://www.clarkmasts.com/qtm_masts.php

-
- [26] Katalogový list přijímací antény Televes 1044. *Televes.com* [online]. 2006 [cit. 2014-04-18]. Dostupné z: www.televes.com
- [27] Katalogový list TP20. *Kovoplast Chlumec nad Cidlinou* [online]. [cit. 2014-04-23]. Dostupné z: <http://kovoplast.cz>
- [28] LUNDSTRÖM, Lars-Ingemar. *Understanding digital television: an introduction to DVB systems with satellite, cable, broadband and terrestrial TV*. Boston: Elsevier/Focal Press, c2006, xii, 316 p., [16] p. of plates. ISBN 978-024-0809-069.
- [29] REIMERS, [edited by] Ulrich. *DVB: the family of international standards for digital video broadcasting*. 2nd ed. Berlin: Springer, 2004, xii, 316 p., [16] p. of plates. ISBN 978-364-2078-071
- [30] O'LEARY, Seamus. *Understanding digital terrestrial broadcasting: the family of international standards for digital video broadcasting*. 2nd ed. Boston: Artech House, c2000, xxii, 272 s. ISBN 15-805-3063-X.
- [31] REIMERS, [edited by] Ulrich. *LTE for 4G Mobile Broadband Air Interface Technologies and Performance: the family of international standards for digital video broadcasting*. 2nd ed. Leiden: Cambridge University Press, 2009, xii, 316 p., [16] p. of plates. ISBN 978-051-1516-665.

Seznam obrázků

<i>Obrázek 1.1 Proces multiplexování (zjednodušeně)</i>	3
<i>Obrázek 1.2 Charakter šíření signálu digitální a analogové TV</i>	6
<i>Obrázek 1.3 Zobrazení zahraničních vysílačů</i>	11
<i>Obrázek 2.1 Mechanismus šíření vln</i>	16
<i>Obrázek 2.2 Šíření elektromagnetických vln přízemní vlnou</i>	19
<i>Obrázek 2.3 Tři základní případy atmosférické refrakce</i>	20
<i>Obrázek 2.4 Atmosférická refrakce a zavedení efektivního poloměru Země</i>	21
<i>Obrázek 2.5 Přijímací strana v jiné výšce než je vysílač</i>	22
<i>Obrázek 2.6 Šíření rádiových vln troposférickou vlnou</i>	23
<i>Obrázek 2.7 Profil přízemní inverze [8]</i>	25
<i>Obrázek 2.8 Profil výškové inverze [8]</i>	26
<i>Obrázek 2.9 Lom vln na rozhraní hustší a řidší vrstvy vzduchu (a)</i>	27
<i>Obrázek 2.10 Lom vln na rozhraní hustší a řidší vrstvy vzduchu (b)</i>	27
<i>Obrázek 2.11 Lom vln ve vytvořeném vlnovodu</i>	28
<i>Obrázek 3.1 Místo měření</i>	32
<i>Obrázek 3.2 Měřicí přístroj Sefram 7866HD</i>	32
<i>Obrázek 3.3 Výsuvný stožár SGT10HP</i>	33
<i>Obrázek 3.4 Anténa Televes 1044</i>	33
<i>Obrázek 3.5 Průběh zisku antény Televes 1044 v závislosti na frekvenci [26]</i>	34
<i>Obrázek 3.6 Anténa TP 20</i>	34
<i>Obrázek 3.7 Průběh zisku antény TP 20 v závislosti na frekvenci [27]</i>	35
<i>Obrázek 3.8 Měřené vysílače za inverze 14.12.2013</i>	35
<i>Obrázek 3.9 Anténa TP 20 při měření v inverzi</i>	36
<i>Obrázek 4.1 Umístění vysílače Ul. Cmentarna</i>	39
<i>Obrázek 4.2 Umístění vysílače Chrzelice</i>	40
<i>Obrázek 4.3 Umístění vysílače Kosztowy</i>	41
<i>Obrázek 4.4 Zachycená TV z vysílače Kosztowy při inverzi</i>	42
<i>Obrázek 4.5 Umístění vysílače Brno - FN Bohunice</i>	43
<i>Obrázek 4.6 Umístění vysílače Zwalowisko</i>	45
<i>Obrázek 4.7 Umístění vysílače Kahlenberg</i>	46
<i>Obrázek 4.8 Umístění vysílače Skrzyczne</i>	48
<i>Obrázek 4.9 Umístění vysílače Lysá hora</i>	49
<i>Obrázek 4.10 Umístění vysílače Praděd</i>	51

Seznam tabulek

<i>Tabulka 1.1 Bitová rychlost v módu 8k v závislosti na variantě přenosu signálu.....</i>	<i>4</i>
<i>Tabulka 1.2 Přehled zahraničního příjmu DVB-T z jednotlivých krajů v ČR.....</i>	<i>9</i>
<i>Tabulka 1.3 Seznam německých vysílačů přijímaných v ČR s popisem vysílaných multiplexů</i>	<i>11</i>
<i>Tabulka 1.4 Seznam rakouských vysílačů přijímaných v ČR s popisem vysílaných multiplexů.....</i>	<i>12</i>
<i>Tabulka 1.5 Seznam slovenských vysílačů přijímaných v ČR s popisem vysílaných multiplexů.....</i>	<i>12</i>
<i>Tabulka 1.6 Seznam polských vysílačů přijímaných v ČR s popisem vysílaných multiplexů</i>	<i>12</i>
<i>Tabulka 2.1 Rozdělení kmitočtových pásem [7].....</i>	<i>14</i>
<i>Tabulka 3.1 Rakouský měřený vysílač.....</i>	<i>36</i>
<i>Tabulka 3.2 Polské měřené vysílače.....</i>	<i>37</i>
<i>Tabulka 3.3 České měřené vysílače.....</i>	<i>37</i>
<i>Tabulka 3.4 Brněnský měřený vysílač</i>	<i>37</i>
<i>Tabulka 4.1 Naměřené hodnoty vysílače Ul. Cmentarna - inverze.....</i>	<i>38</i>
<i>Tabulka 4.2 Naměřené hodnoty vysílače Ul. Cmentarna - normální počasí</i>	<i>38</i>
<i>Tabulka 4.3 Naměřené hodnoty vysílače Chrzelice - inverze.....</i>	<i>39</i>
<i>Tabulka 4.4 Naměřené hodnoty vysílače Chrzelice - normální počasí</i>	<i>40</i>
<i>Tabulka 4.5 Naměřené hodnoty vysílače Kosztowy - inverze.....</i>	<i>41</i>
<i>Tabulka 4.6 Naměřené hodnoty vysílače Kosztowy - normální počasí.....</i>	<i>42</i>
<i>Tabulka 4.7 Naměřené hodnoty vysílače Brno - FN Bohunice - inverze.....</i>	<i>43</i>
<i>Tabulka 4.8 Naměřené hodnoty vysílače Brno - FN Bohunice - normální počasí.....</i>	<i>43</i>
<i>Tabulka 4.9 Naměřené hodnoty vysílače Zwalowisko - inverze.....</i>	<i>44</i>
<i>Tabulka 4.10 Naměřené hodnoty vysílače Zwalowisko - normální počasí</i>	<i>45</i>
<i>Tabulka 4.11 Naměřené hodnoty vysílače Kahlenberg - inverze</i>	<i>46</i>
<i>Tabulka 4.12 Naměřené hodnoty vysílače Kahlenberg - normální počasí.....</i>	<i>46</i>
<i>Tabulka 4.13 Naměřené hodnoty vysílače Skrzyczne - inverze</i>	<i>47</i>
<i>Tabulka 4.14 Naměřené hodnoty vysílače Skrzyczne - normální počasí.....</i>	<i>48</i>
<i>Tabulka 4.15 Naměřené hodnoty vysílače Lysá hora - inverze.....</i>	<i>49</i>
<i>Tabulka 4.16 Naměřené hodnoty vysílače Lysá hora - normální počasí</i>	<i>49</i>
<i>Tabulka 4.17 Naměřené hodnoty vysílače Praděd - inverze</i>	<i>50</i>
<i>Tabulka 4.18 Naměřené hodnoty vysílače Praděd - normální počasí.....</i>	<i>50</i>

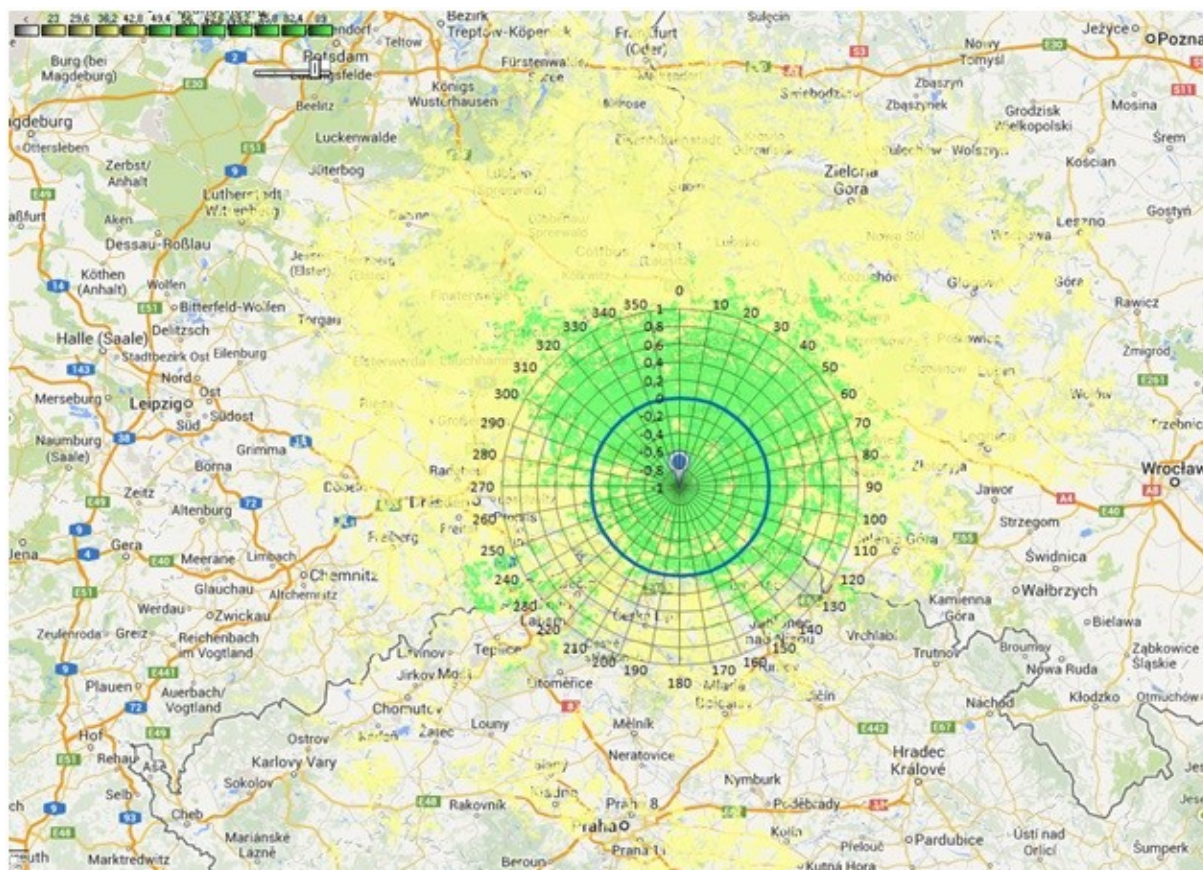
Seznam příloh

Příloha A:	Vykreslení dosahu signálu pohraničních vysílačů.....	IV
Příloha B:	Inverzní oblačnost zachycená družicí.....	XVI
Příloha C:	Vykreslení dosahu signálu měřených vysílačů.....	XVII
Příloha D:	Katalogový list měřicího přístroje SEFRAM 7866HD.....	XXIV
Příloha E:	Katalogový list výsuvného stožáru SQT10HP.....	XXVI
Příloha F:	Katalogový list přijímací antény Televes 1044.....	XXVIII
Příloha G:	Katalogový list přijímací antény TP 20.....	XXIX

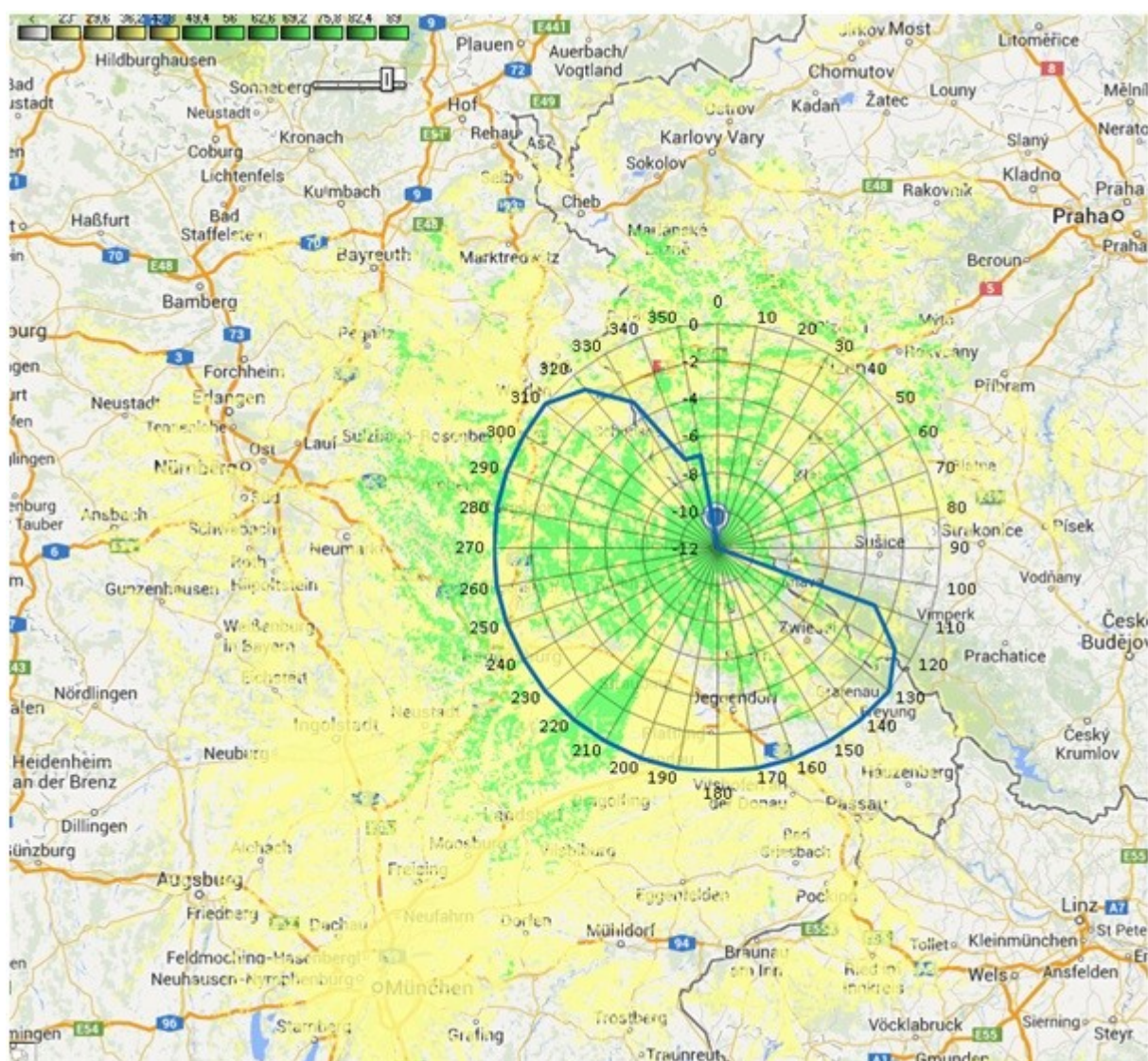
Příloha A

Vykreslení dosahu signálu pohraničních vysílačů.

Vykresleno díky serveru [23].



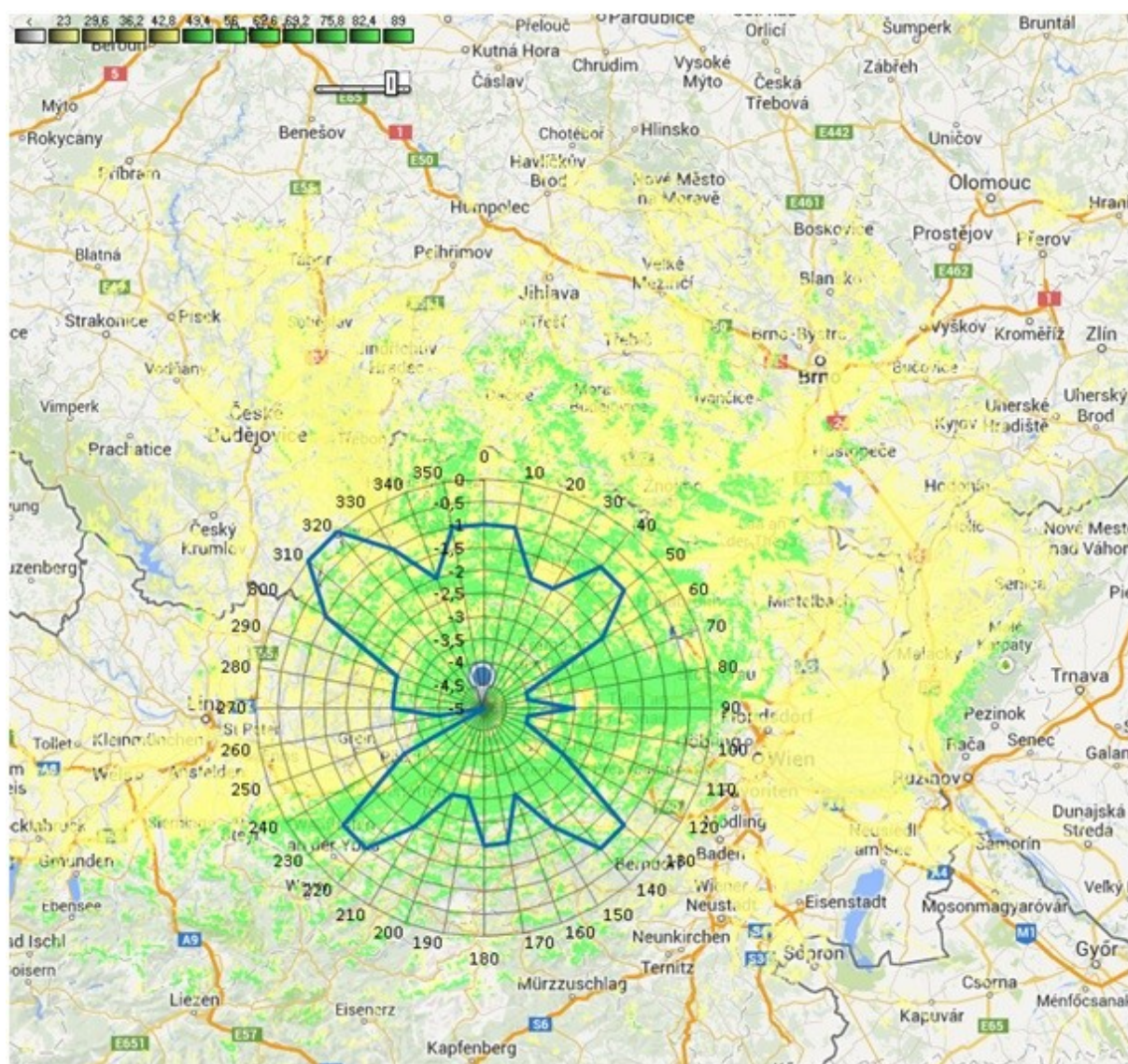
Obrázek A.1 Vykreslení signálu vysílače Löbau



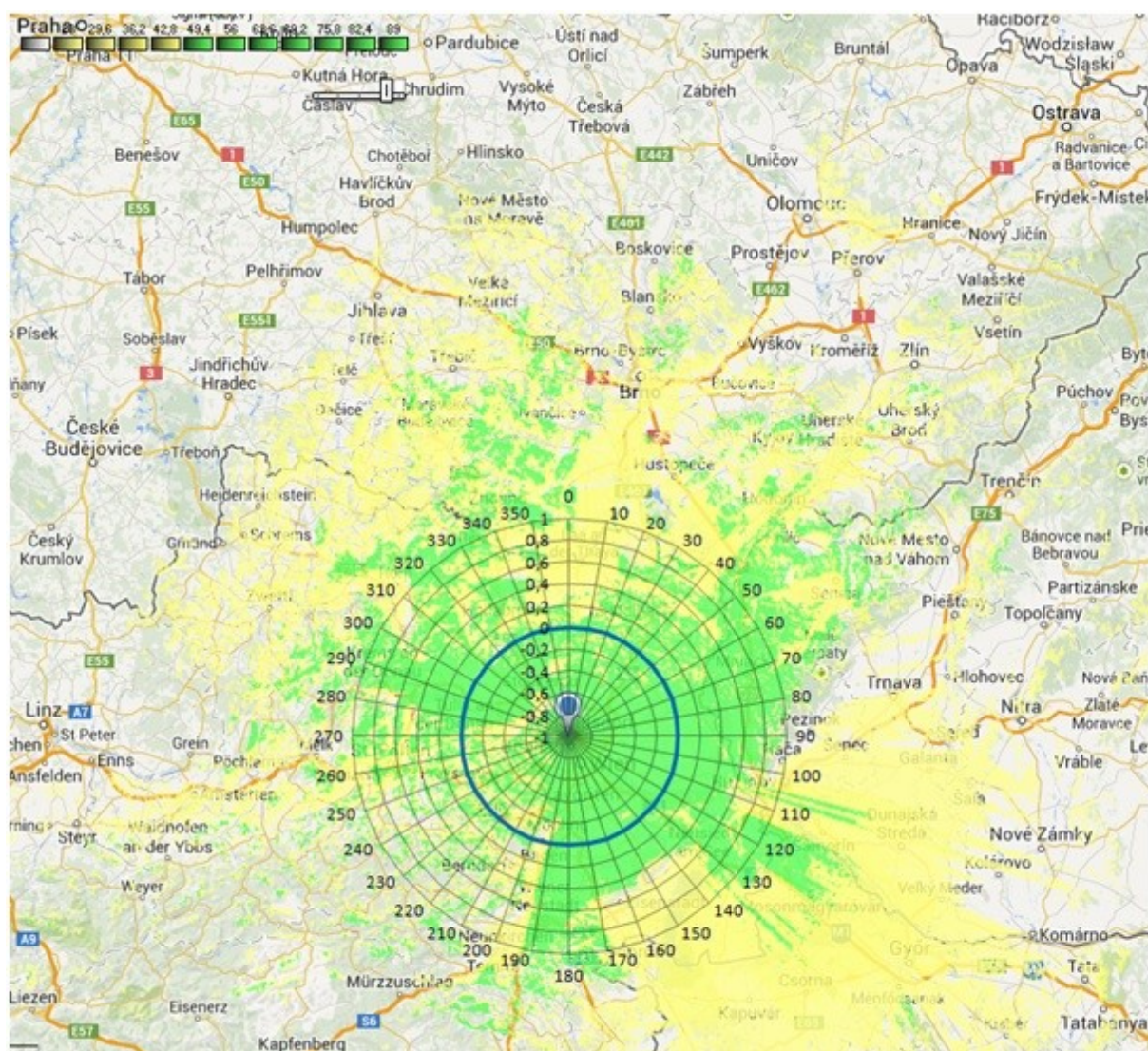
Obrázek A.2 Vykreslení signálu vysílače Hoher Bogen



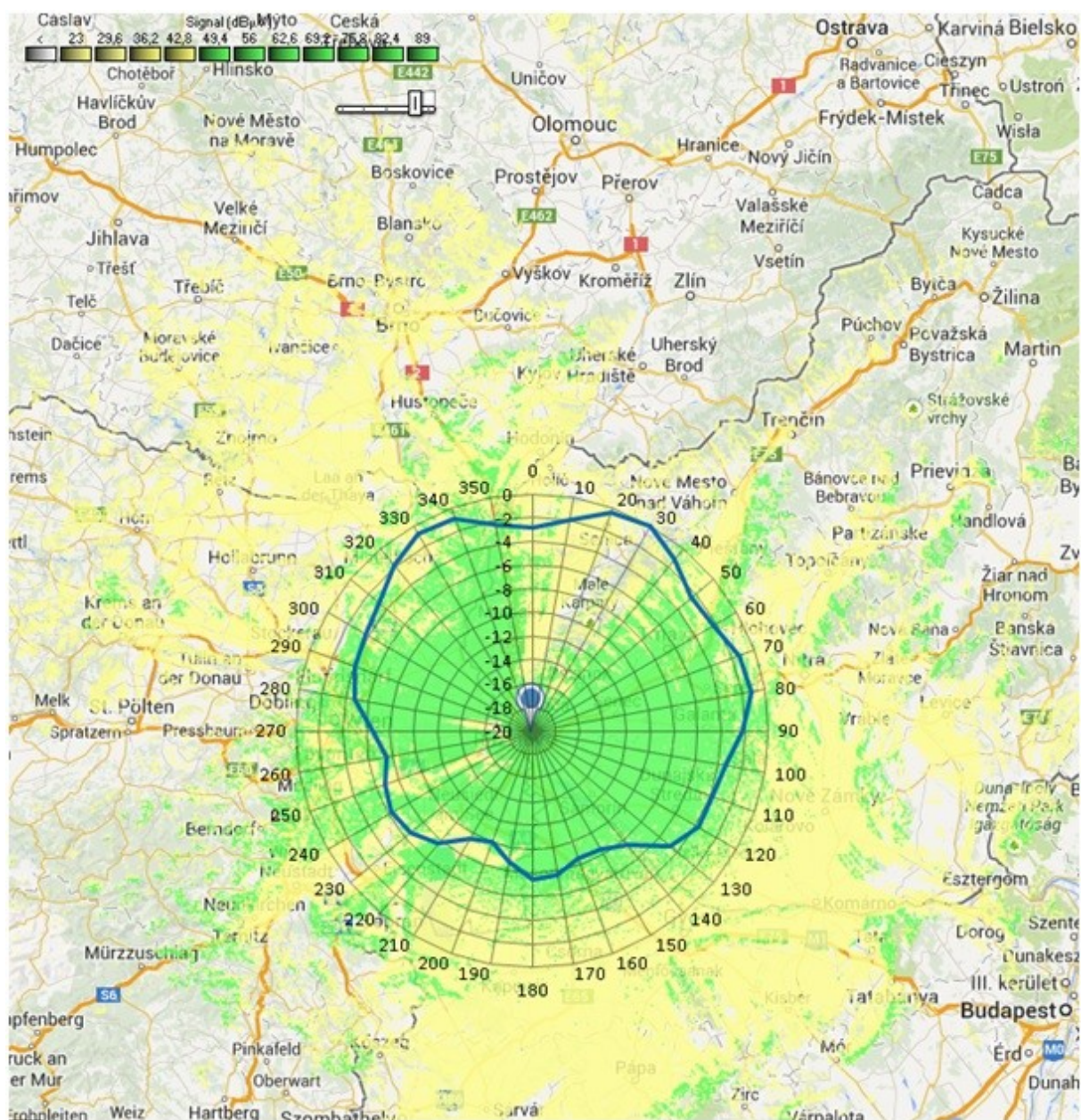
Obrázek A.3 Vykreslení signálu vysílače Brotjacklriegel



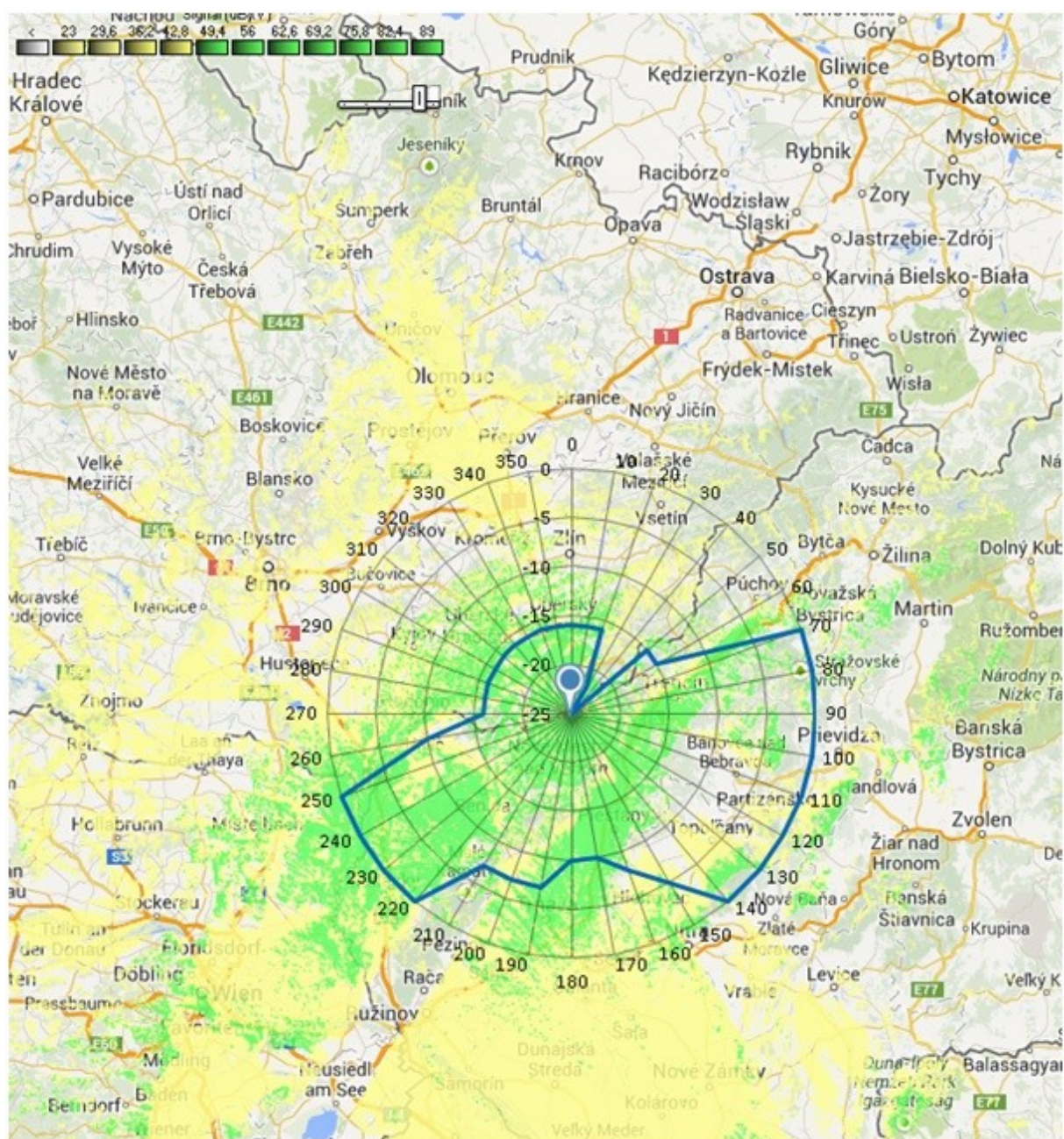
Obrázek A.4 Vykreslení signálu vysílače St. Pölten - Jauerling



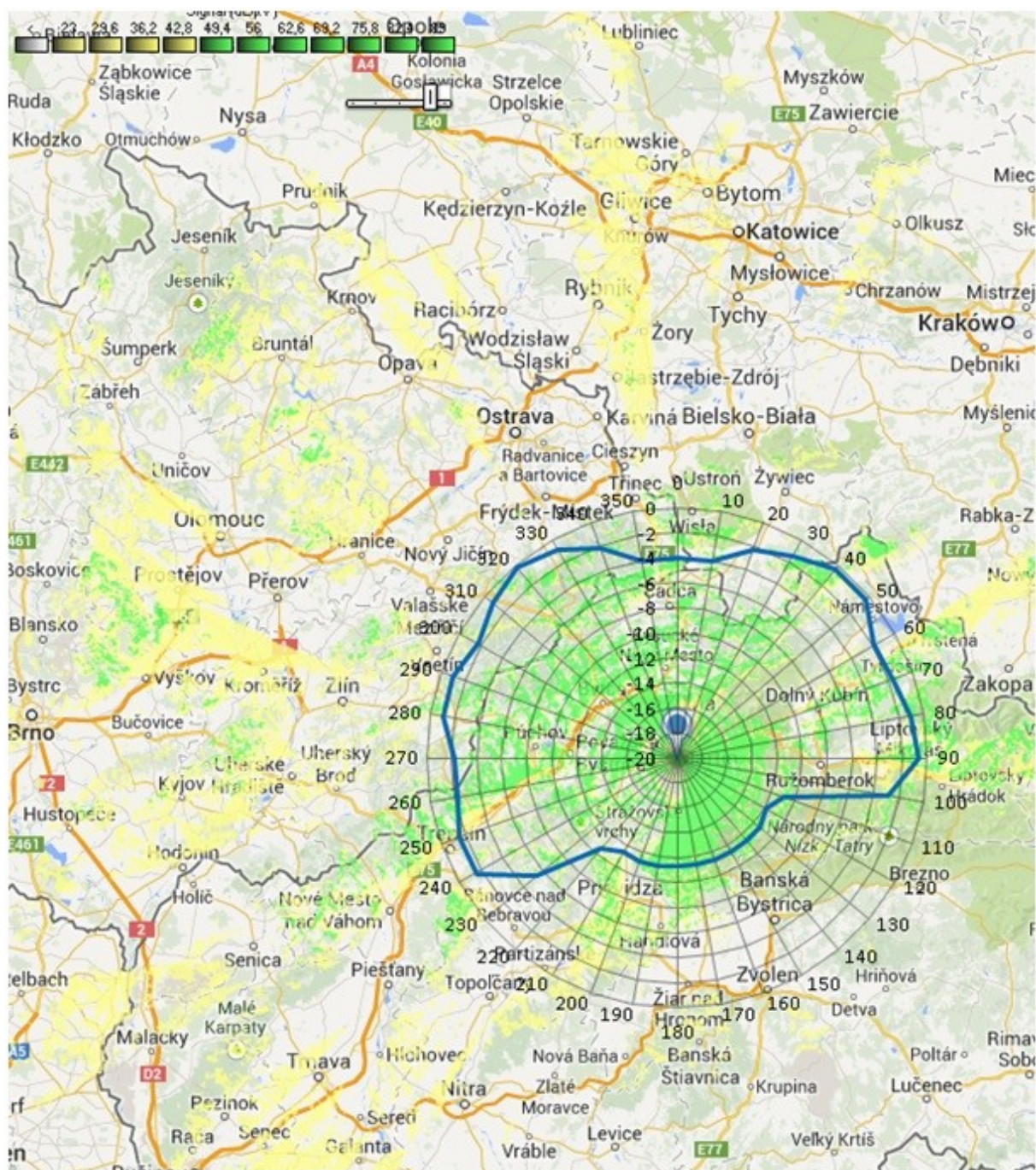
Obrázek A.5 Vykreslení signálu vysílače Kahlenberg



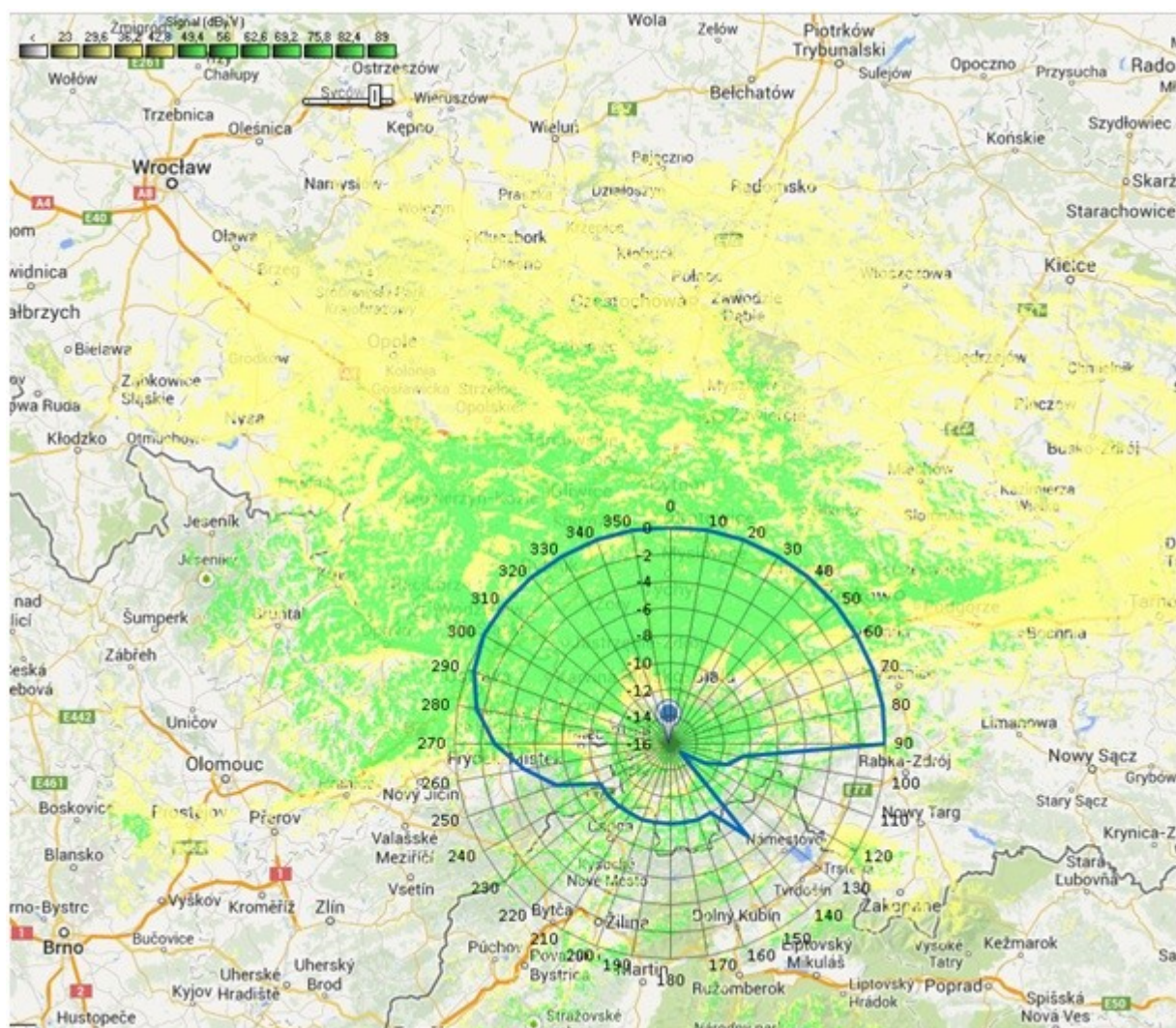
Obrázek A.6 Vykreslení signálu vysílače Bratislava, Kamzík



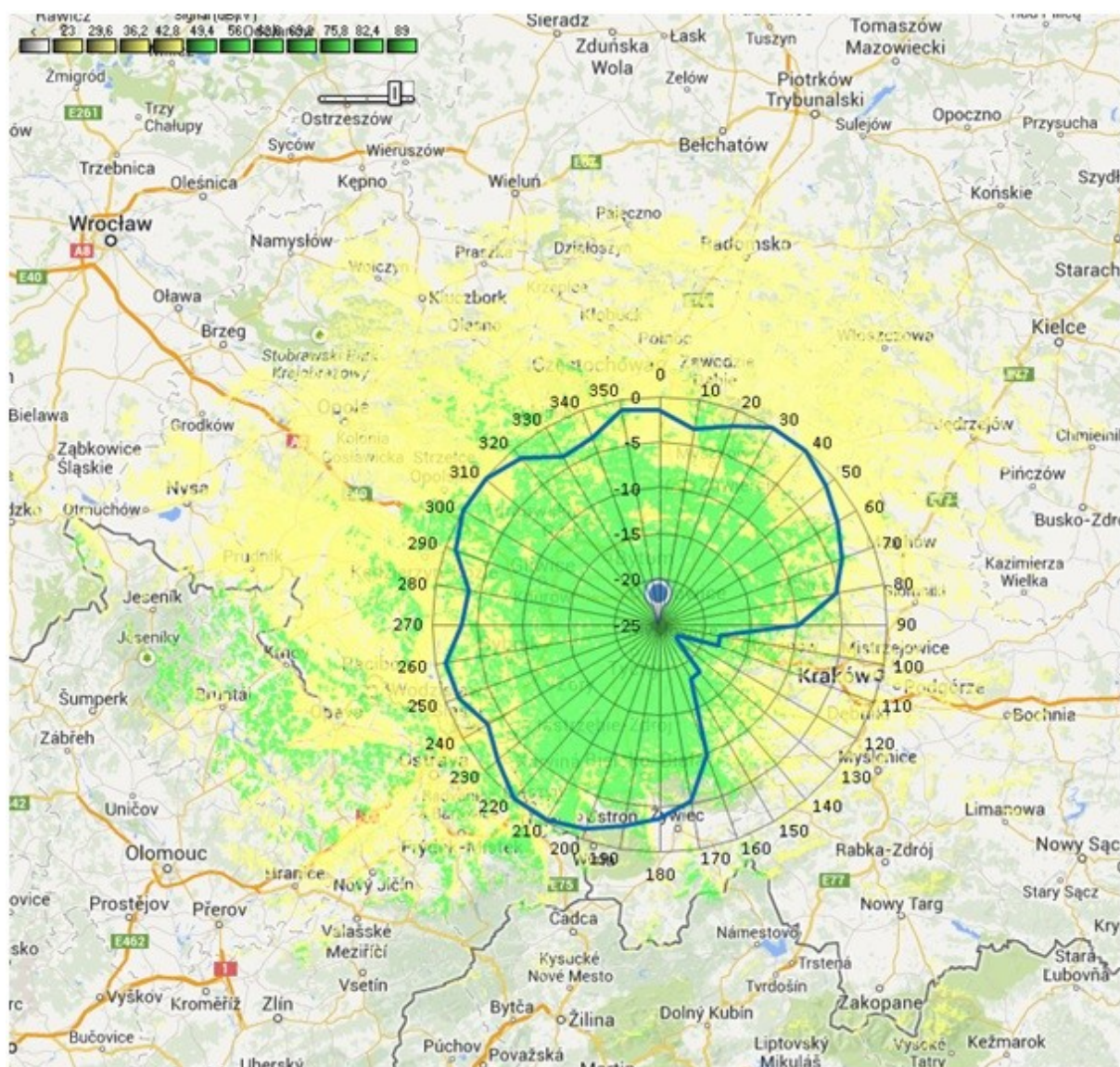
Obrázek A.7 Vykreslení signálu vysílače Velká Javorina



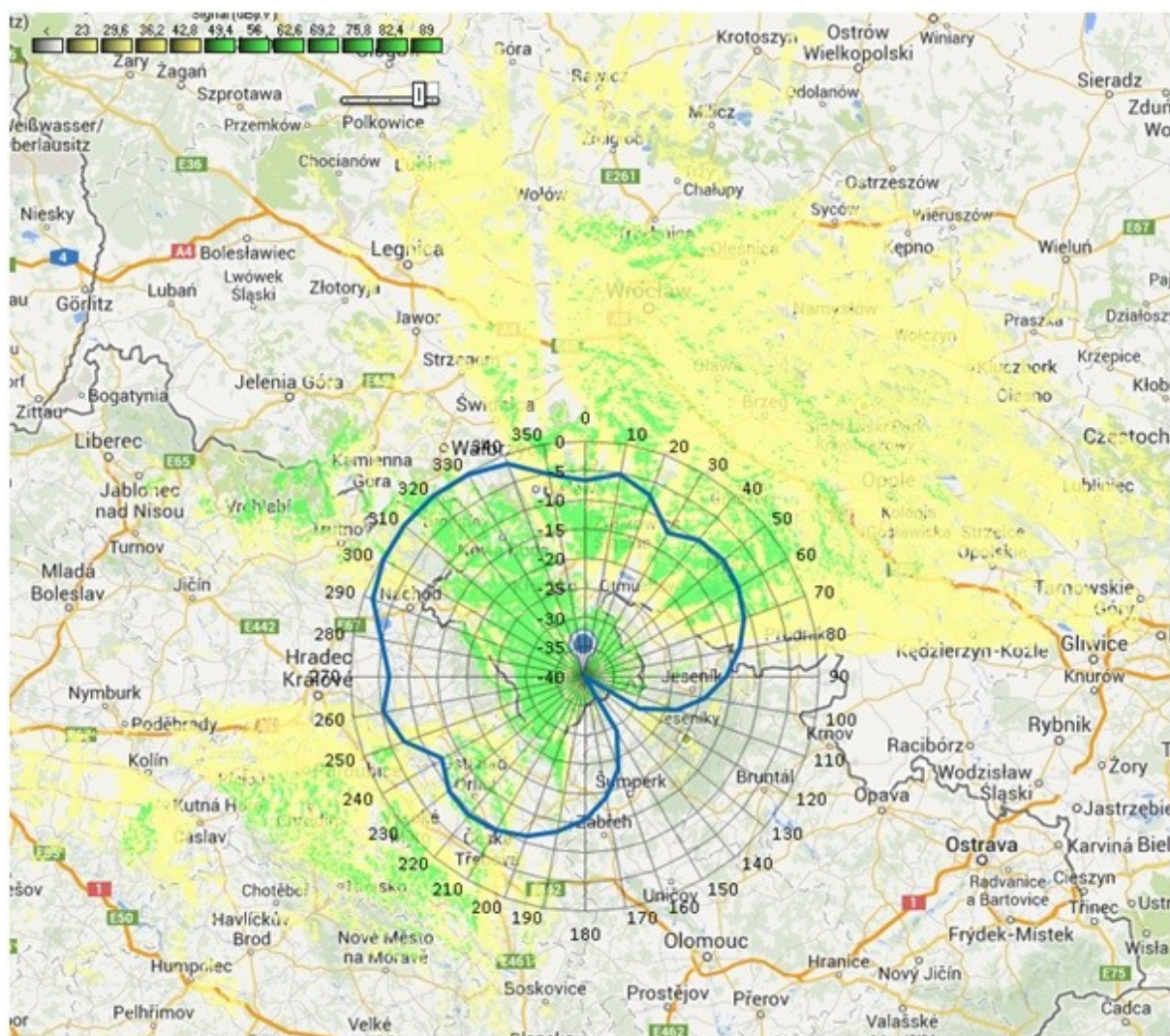
Obrázek A.8 Vykreslení signálu vysílače Žilina, Križava



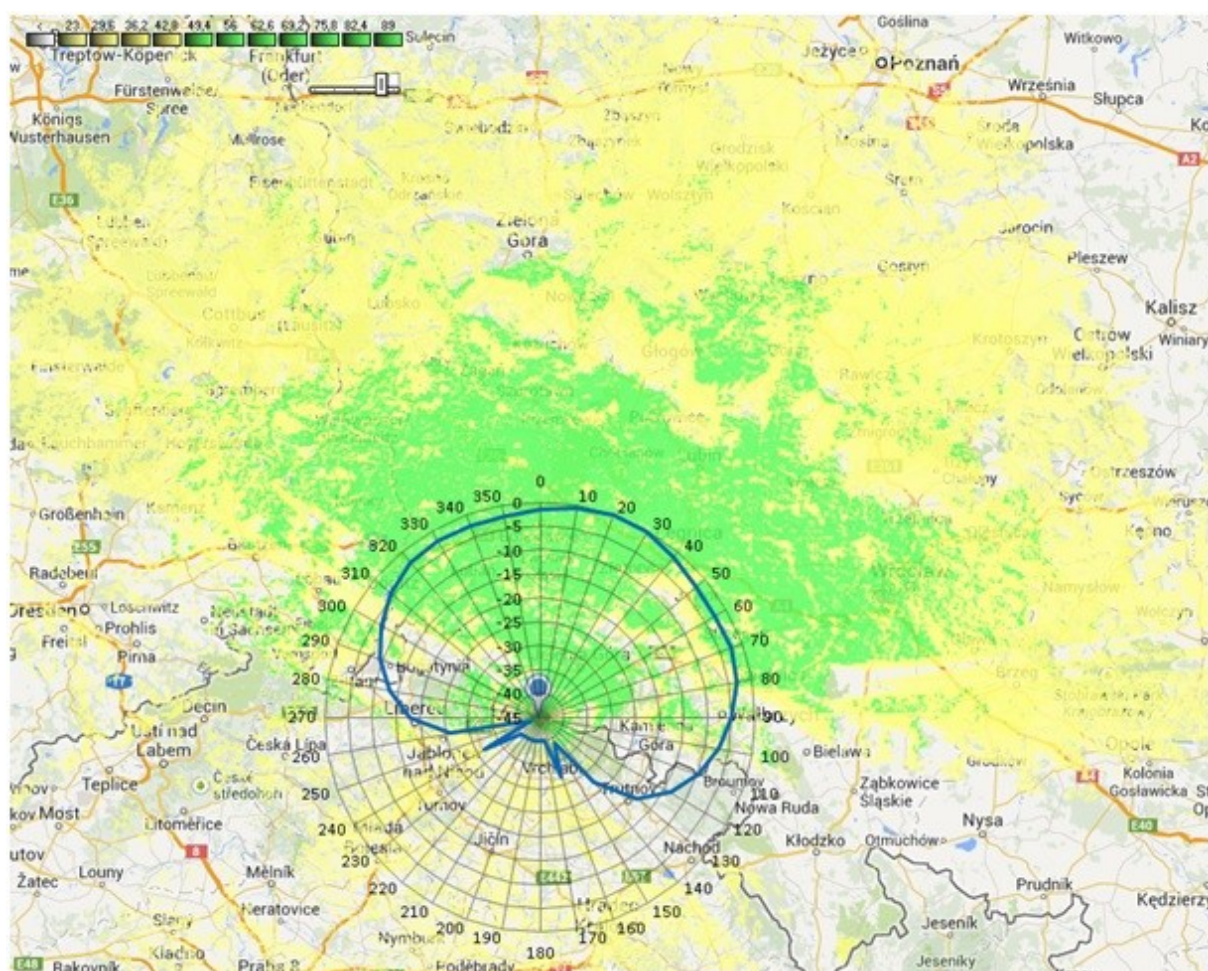
Obrázek A.9 Vykreslení signálu vysílače Wisła, Skrzyczne



Obrázek A.10 Vykreslení signálu vysílače Katowice - Kosztowy



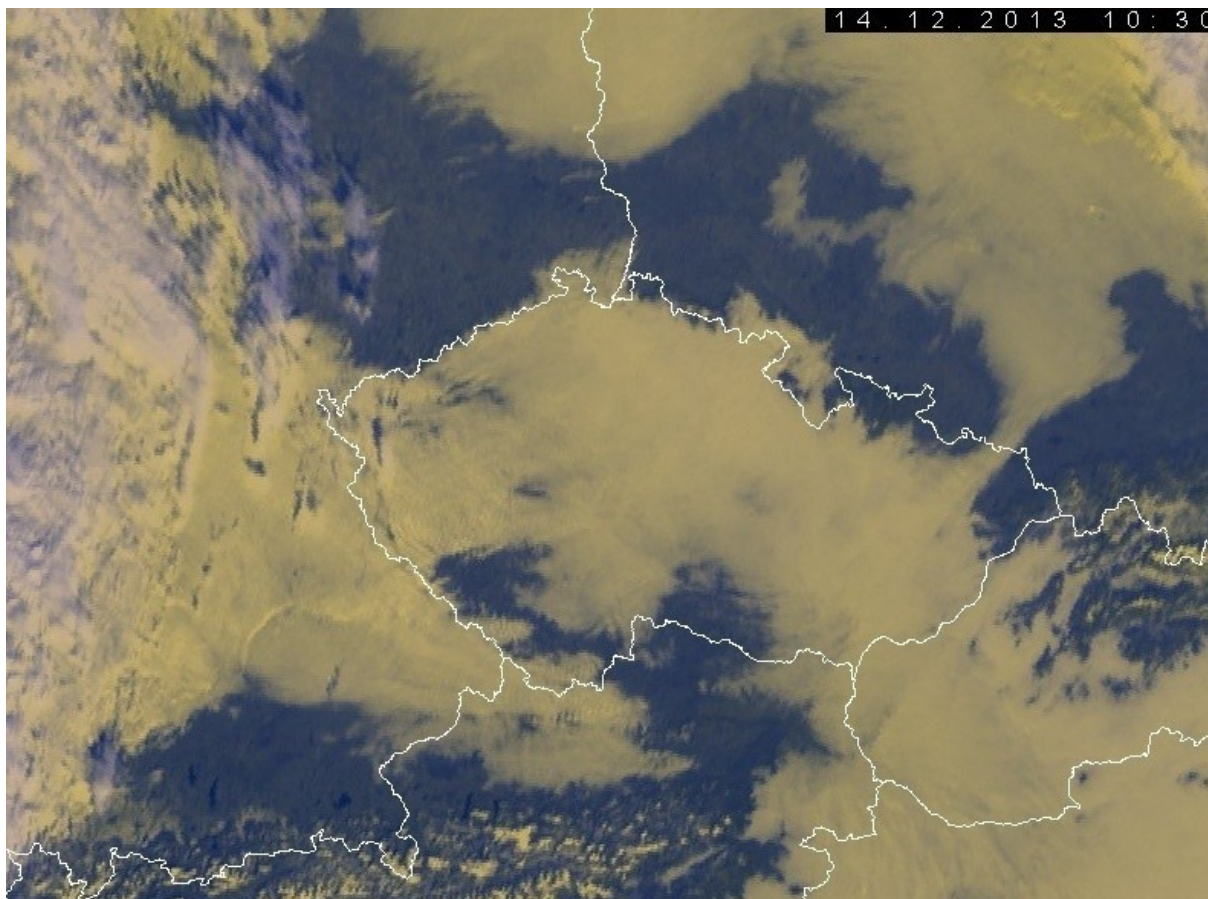
Obrázek A.11 Vykreslení signálu vysílače Kłodzko - Czarna Góra



Obrázek A.12 Vykreslení signálu vysílače Jelenia Góra - Śnieżne Kotły

Příloha B

Inverzní oblačnost zachycená družicí.

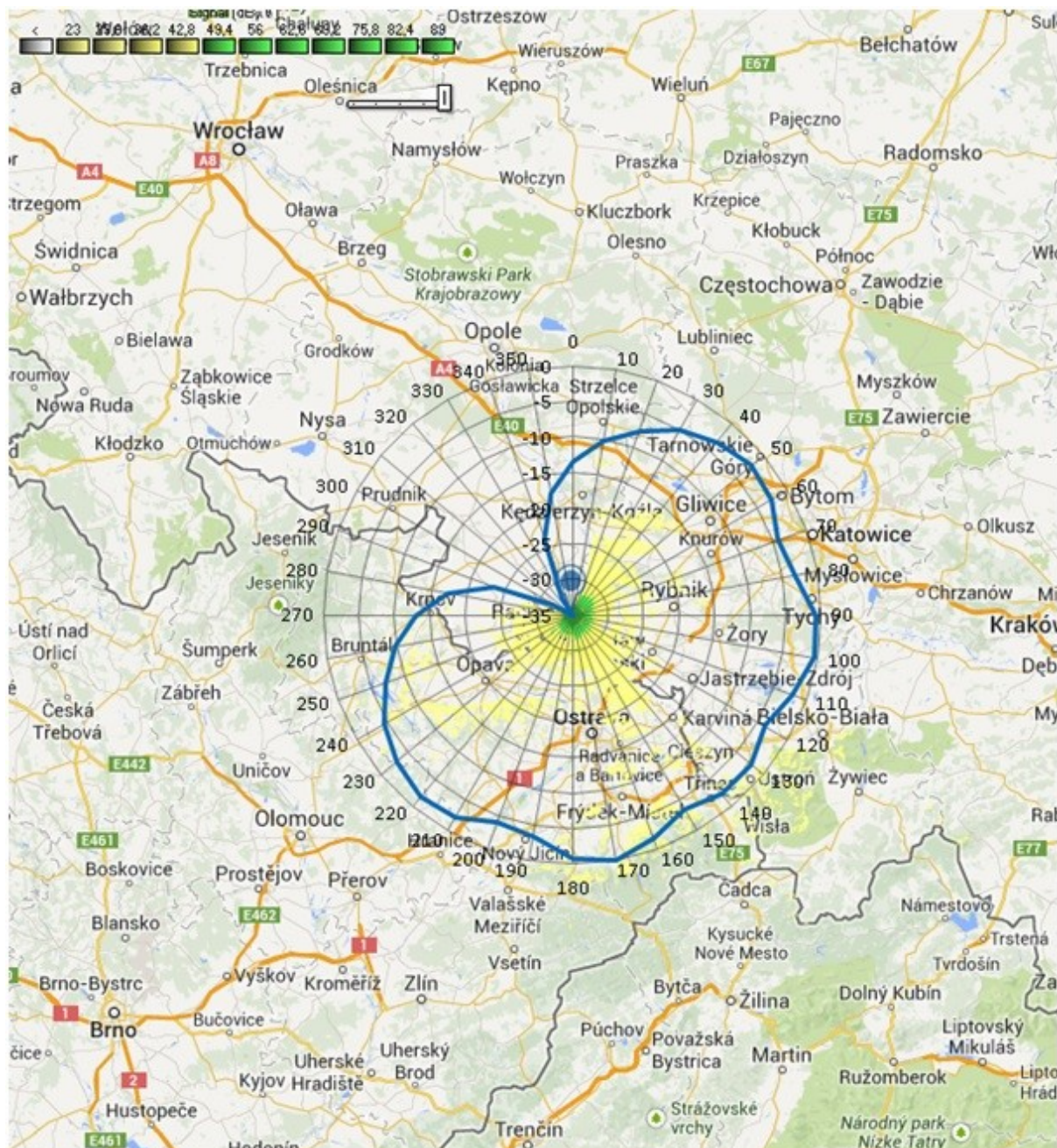


Obrázek B.1 Inverzní oblačnost dne 14.12.2013 zachycená družicí (server chmi.cz)

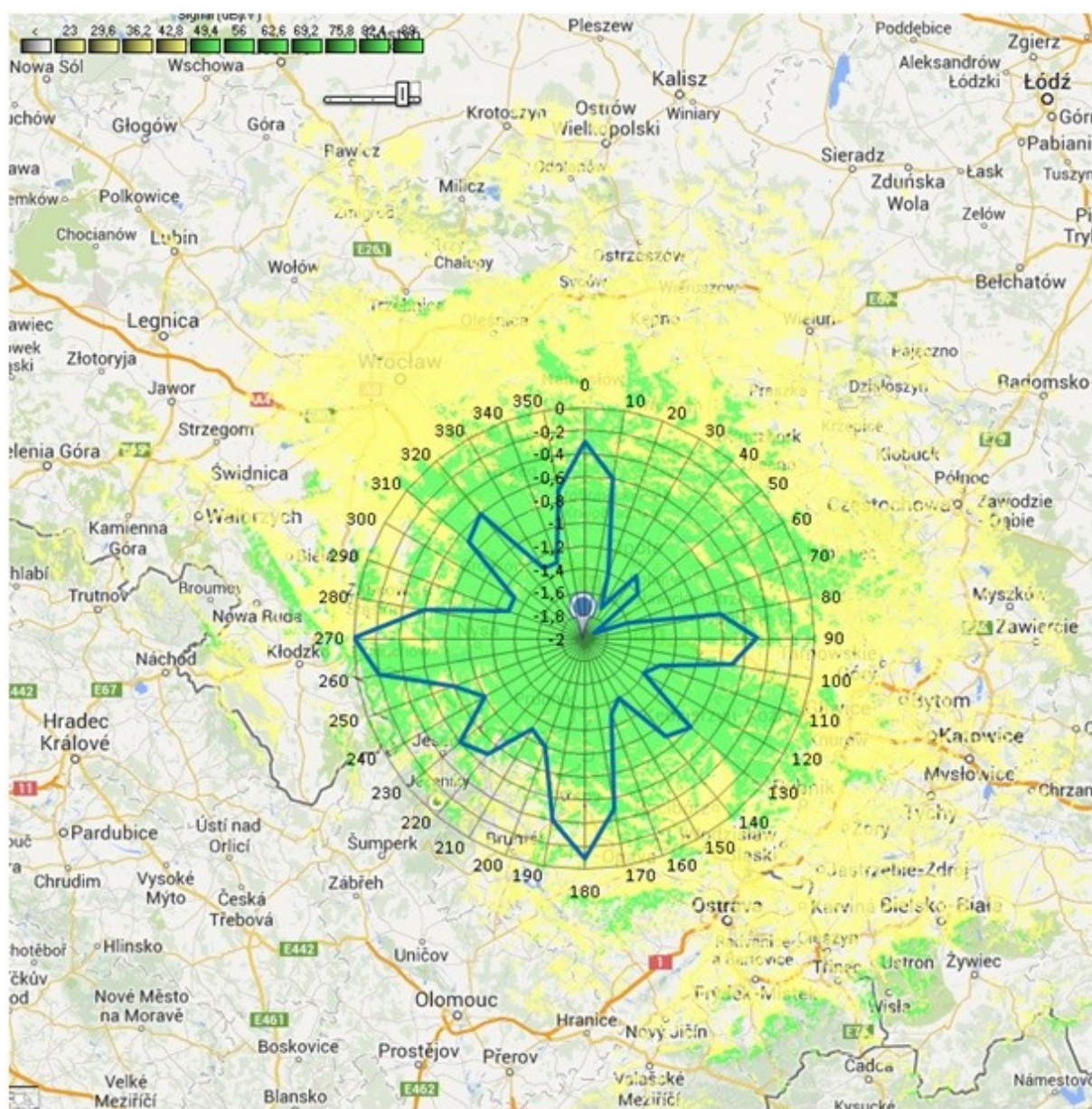
Příloha C

Vykreslení dosahu signálu měřených vysílačů.

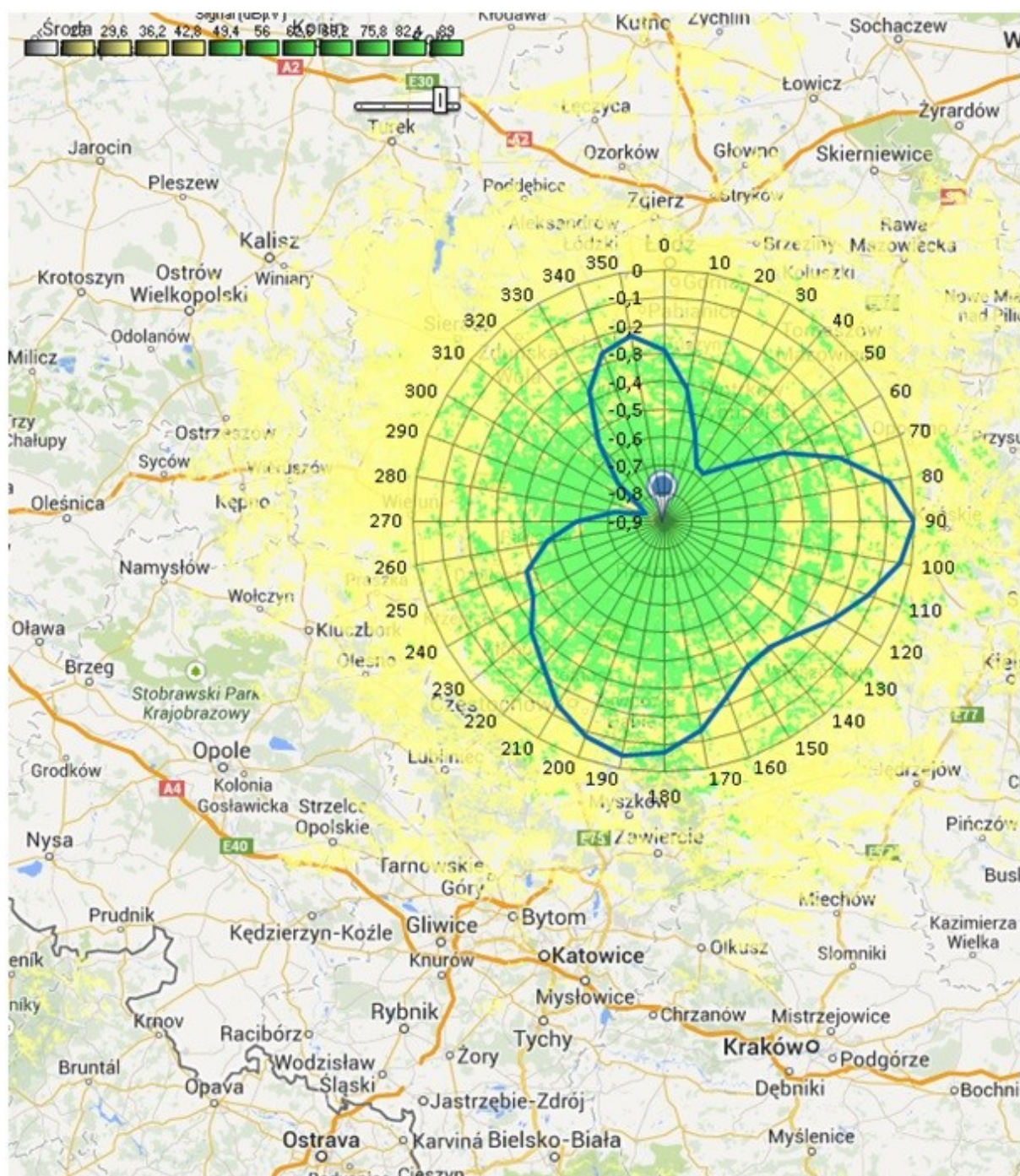
Vykresleno díky serveru [23].



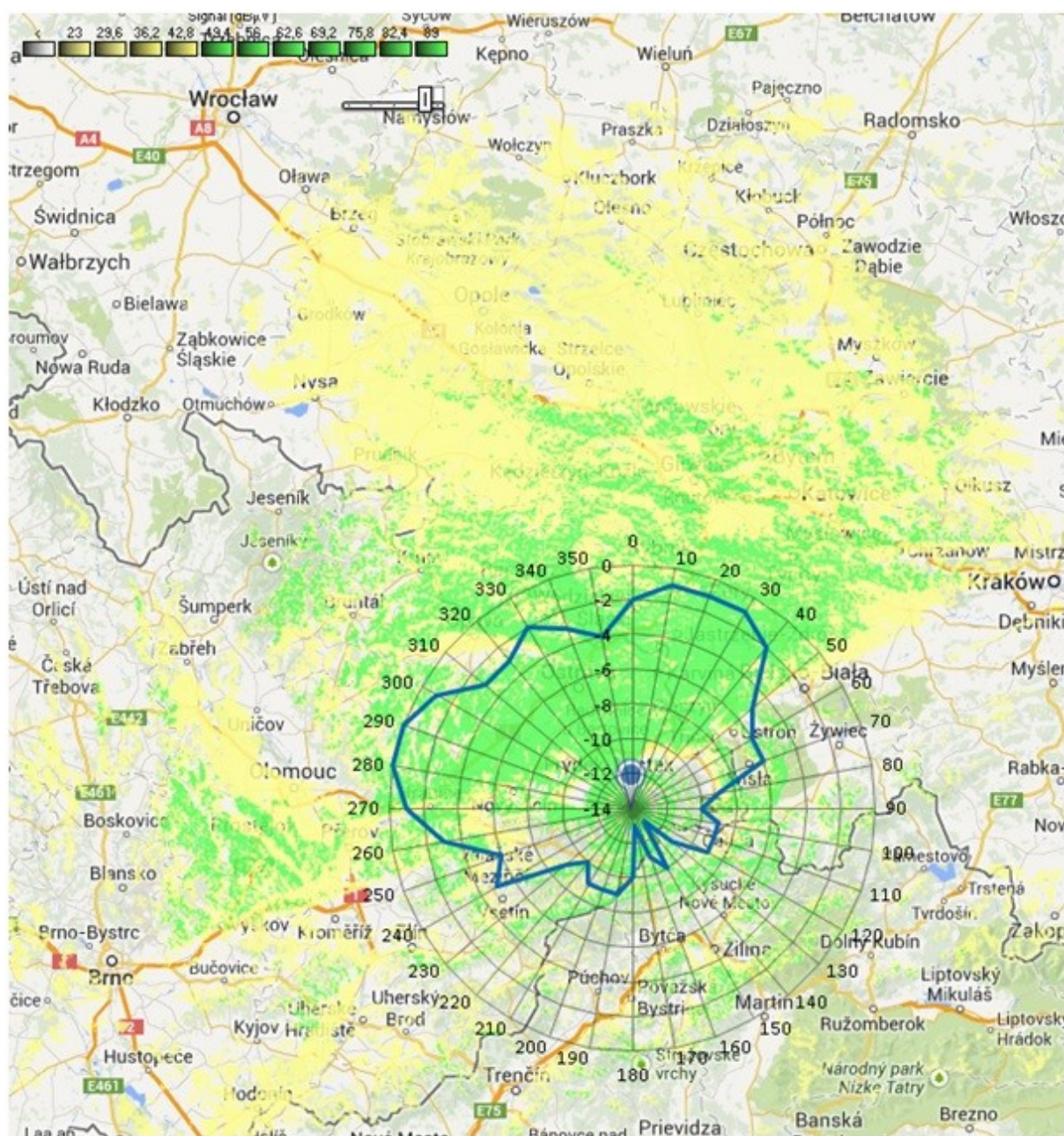
Obrázek C.1 Vykreslení signálu vysílače ul. Cmentarna



Obrázek C.2 Vykreslení signálu vysílače Chrzelice



Obrázek C.3 Vykreslení signálu vysílače Zwolewo

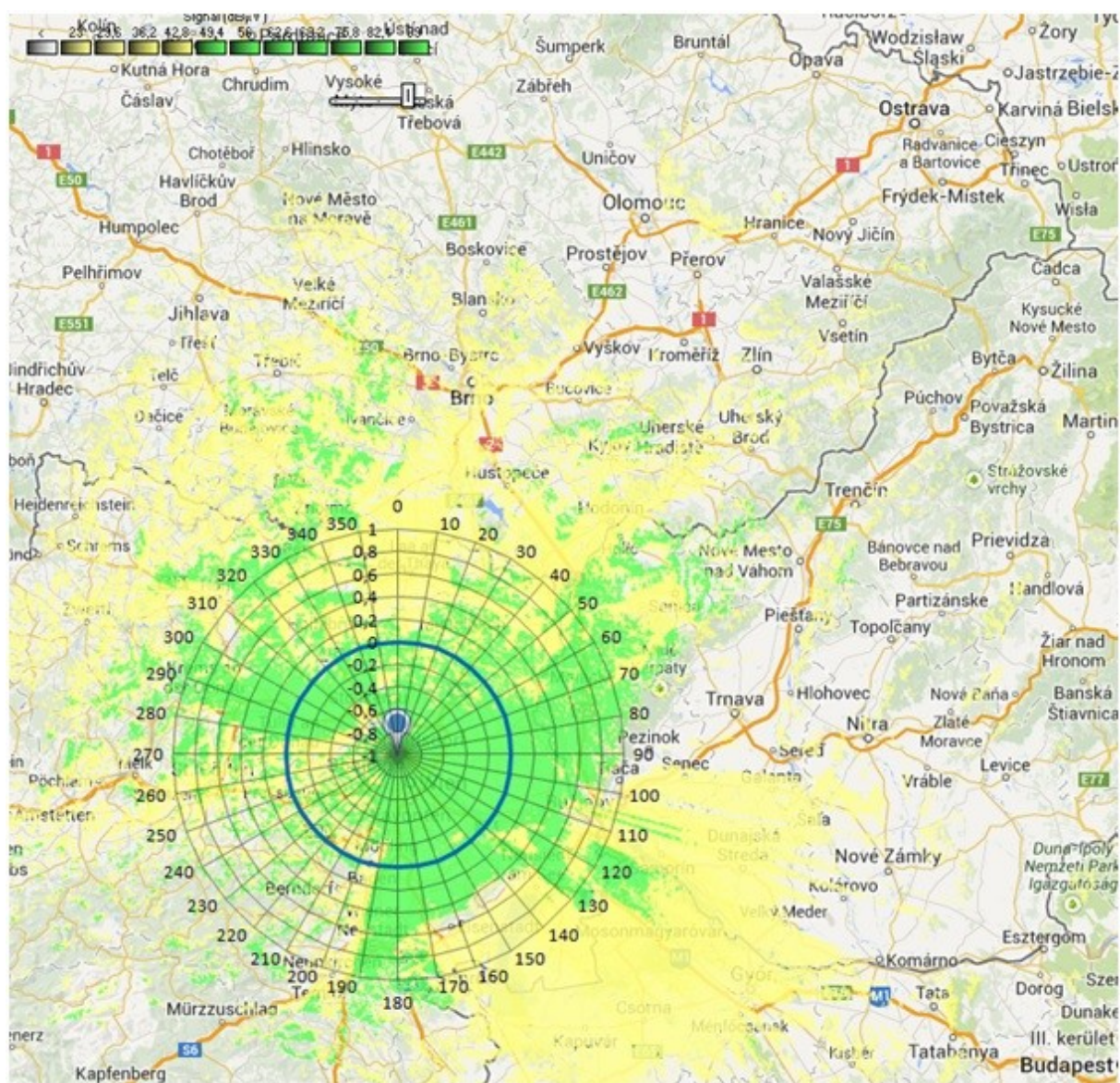


Obrázek C.4 Vykreslení signálu vysílače Frýdek-Místek, Lysá hora



Obrázek C.5 Vykreslení signálu vysílače Praděd

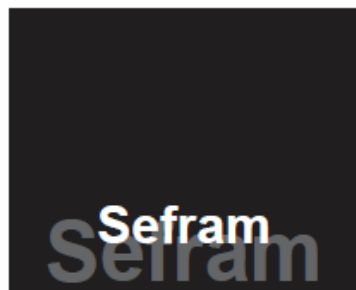




Obrázek C.7 Vykreslení signálu vysílače Wien 1 - Kahlenberg

Příloha D

Katalogový list měřicího přístroje SEFRAM 7866HD.



SEFRAM 7866HD

Make sure to visit
our Website
<http://www.sefram.fr>

State-of-Art Specifications for High Definition TV

Capabilities

- Panoramic 7 inch LCD coloured screen
- Weight: 2,1kg
- Display free to air programs for digital terrestrial, cable and satellite
- Display **High Definition TV programs**
- Full measurements DVB-T/H, DVB-C, DVB-S et DVB-S2
- Full measurements for MPEG-2 and MPEG-4
- Ultra fast spectrum analysis and expert spectrum analysis
- Satcheck mode with NIT (satellite recognition)
- Real time echoes measurement with zoom
- Constellation diagram with zoom
- OSD TV, PID audio and video, impulse response
- ASI-TS output/input (1)
- GPS module for mapping signals
- Graphical display of measurements
- Very high sensitivity in terrestrial band
- Memorise and export/import data with USB memory stick
- Battery with 1 hour charging time and 4 hours autonomy
- Rugged carrying case
- Water proof front panel with sensitive button
- Optional PC software to create reports

All digital measurements

The SEFRAM 7866HD provides all necessary measurements for DVB-T/H, DVB-C, DVB-S and DVB-S2. The panoramic TFT display will show all parameters and measurements for the selected channel.

Specific features to save time

Time is money! With the ultra fast spectrum analysis, NIT, Check sat mode, autose, real time echoes, constellation diagram with zoom, impulse response, complete OSD the SEFRAM 7866HD will save your precious time during antenna setup. The SEFRAM 7866HD includes a GPS function for mapping the signal parameter.

Easy to use

Direct access to functions makes the SEFRAM 7866HD very easy to use. Getting started with the TV meter is like a game!



SEFRAM 7866HD

Optimized design for your safety

With only 2,1kg, the SEFRAM 7866HD will be the ideal companion for all your measurements on the field. Its compact size will provide better safety and makes your work easier.

Panoramic Display

With its panoramic 7 inch LCD screen (16:9), the reading of measurements will be easier than any other product available on the market

HD TV display

The new SEFRAM 7866HD displays **high definition TV** programs (MPEG4-H264 free to air) with the decoding of all digital sounds.

Selection guide

	7861	7861HD	7862	7862HD	7863HD	7865HD	7866HD
Frequency Band	Terrestrial 45-865MHz Satellite 950-2150MHz	Terrestrial 45-865MHz Satellite 950-2150MHz	Terrestrial 45-865MHz Satellite 950-2150MHz	Terrestrial 45-865MHz Satellite 950-2150MHz	Terrestrial 5-865MHz	Terrestrial 5-865MHz Satellite 950-2150MHz	Terrestrial 5-865MHz Satellite 950-2150MHz
DVB-T/H	✓	✓	✓	✓		✓	✓
DVB-S, DVB-S2	✓	✓	✓	✓		✓	✓
DVB-C			✓ (45-865MHz)	✓ (45-865MHz)	✓	✓	✓
TV MPEG2 display	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
TV MPEG4 - H264 display (HD TV)		✓		✓	✓	✓	✓
Fast spectrum analysis	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Check sat mode	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Constellation diagram with zoom			✓	✓	✓	✓	✓
Graphical display of measurements			✓	✓	✓	✓	✓
Wifi measurements *	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
GPS						✓ (1)	✓ (1)
TS-ASI Output/Input							

* with optional adapter.

(1): available June 2010. Cannot be retrofit on previous models.



Sefram
INSTRUMENTS & SYSTEMS



SEFRAM 7866HD

Panoramic TV Meter

Technical Specifications	Terrestrial Band	Satellite Band
Frequency	5-865 MHz	950-2150 MHz
Range	measure 25 kHz, display 1 kHz	measure 25 kHz, display 1 kHz
Resolution		
Level measurements	20-120 dBµV	30-110 dBµV
Dynamic range	5 dBµV typical	
Noise floor level	dBµV, dBmV, dBm, V	dBµV, dBmV, dBm, V
Units	+2dB +/- 0.05dB/°C	+3dB +/- 0.05dB/°C
Accuracy	0.1dB	0.1dB
Resolution		
Filters	automatic with selected standard 100 - 300 kHz	F or BNC 75 Ohms
Input	F or BNC 75 Ohms	80 V DC, 80 V rms/50Hz
Max permissive voltage	80 V DC, 80 V rms/50Hz	80 V DC, 80 V rms/50Hz
Standards	B, G, D, K, L, M, N, FM, carrier, QAM, C-QEDM	PAL, SECAM, NTSC, DVB-S, DVB-S2, DSS
Measurements	V, C/N, V/A1, V/A2 according to selected standard	RF, C/N
Fast spectrum analysis		
Ultra fast mode	100 ms typ. (10 times/s)	100 ms typ. (10 times/s)
Expert mode	yes, with all measurements information in the spectrum	yes, with all measurements information in the spectrum
Filters	automatic with selected span (100, 300, 1000 kHz)	1MHz
Attenuator	automatic with selected frequency (0 to 60 dB with 5 dB steps)	automatic (0 to 60 dB with 5 dB steps)
Dynamic (display)	60 dB (10 dB/div), 30 dB (5dB/div)	60 dB (10 dB/div), 30 dB (5dB/div)
Span	10 MHz to full span in 1, 2, 5 steps	10 MHz to full span in 1, 2, 5 steps
Measurement map		
Capacity		scrolling 12 programs
Display		graphical (bargraph)
Check sat mode		
		fast search of satellite, simple or double LNC
		30 satellites typical, with European database loaded
		4 transponders per satellite, can be modified by user
Memory		
Saving	internal, non volatile memory, USB stick (not supplied with)	
Data	places, measure (level, BER/MER, frequency map, Spectre,...)	
Capacity		320 Ko (1000 files max or folders)
Auxiliary inputs and outputs		
Interfaces		2 x USB (A and mini B), Ethernet 10baseT
Power supply input		jack 3.5 mm, 15 V max, 6 A max
Audio / Video		Input/Output audio and video
ASI-TS output/input		yes, BNC on the upper panel (1)
Remote supply and control		
Voltage	5/13/18 V, 500 mA max	13/18 V, 500 mA max
DISEQC		DISEQC 1.2
22 kHz		22 kHz, Minidiseqc, ToneBurst
Digital measurements	DVB-T/H	DVB-C
Bit Error Rate (BER)	CBER (before Viterbi) VBER (after viterbi) UNC (lost packets)	BER (before Reed Solomon) UNC (lost packets)
Modulation Error Rate (MER)	5-35dB	0-20dB
Symbol rate		DVB-S: 1-45Ms/s DVB-S2: 1-36Ms/s BPSK: 1-31Ms/s
Bandwidth	5MHz, 6MHz, 7 MHz, 8 MHz	
Constellation	automatic	16, 32, 64, 128, 256 - zoom
Viterbi rate		QPSK and BPSK
Guard interval	Automatic and manual	1/2, 2/3, 3/4, 5/6, 7/8, 8/9, 9/10 (auto)
Inverted spectrum	Manual	
Standard	EN 300-744 NICAM	ITU J83-Appendix A and B
Frequency	45-865MHz	
Standard	B, G, D, K, L, I	
Level measurements	yes	
Echoes / Impulse response		
Dynamic range	30 dB, 67km (en 8k)	
Units	µs, km, miles	
TV picture and sounds		
Analogue programs	yes	
Digital programs (free to air)	SD (standard definition) and HD (high definition)	SD (standard definition) and HD (high definition)
Sounds	analogue, MPEG-1, MPEG-2, AAC, HE AAC, Dolby® Digital, Dolby® Digital Plus	
Digital programs (*)	yes	yes

General Specifications	
Display	LCD TFT Coulored 7 inch 16/9, backlighted, 800x480 dot (W-VGA)
Power supply	main adaptor 110/230 VAC, jack 3.5mm, 15 V 6 A
Battery	LiOn battery 70Wh
Autonomy	4 hours typical
Built-in charger	1 hour charging time for 80% capacity
Operating temperature	0°C to 40°C
Storage temperature	-10°C to 60°C
EMC and safety	NF-FN 61362-1 / NF-FN 61326-3 / NF-FN 61010-1
Dimensions	205 x 90 x 290 mm
Weight	2,1 kg (including battery and pouch)

Supplied with : main adaptor (90-245V with European plug), user's manual, F/F or F/BNC adaptor, a rugged carrying pouch for accessories, GPS module (USB)

Optional accessories : Wifi adaptor : P/N 978651000
Pouch for accessories : P/N 978656500
Kit TR7836 - kit with TR7836 software (CD-ROM) and USB cable
Car cigarette lighter power supply : P/N 978361000
BNC/TV adaptor : P/N 213200010

GPS module (USB)
Frequency : L1 code C/A standard positioning service
Channels : 20 channels
Position accuracy : 15 meters (CEP) 50% without scrambling
Geodesic datum : WGS84 (default)
Acquisition time : 30s typ. (130s typ. At first power-on)
Acquisition time after signal lost : <1s
Antenna : included in GPS module

TR7836 software is common for all SEFRAM TV Meters
(*) : the display of digital encrypted programs is possible, if user has a valid subscription card
and if the encryption type is supported by the TV Meter. Please check with our sales department when ordering.
(1): available june 2010.

Specifications can be updated without notice

Sefram

INSTRUMENTS & SYSTEMES

AF AQ ISO 9001

32, rue Edouard Martel • B.P. 55 • 42009 - St Etienne cedex 2

0 825 56 50 50

Fax : +33 (0)4.77.57.23.23

Web : www.sefram.fr • e-mail : sales@sefram.fr

For assistance and ordering

CE

*Dolby is a trade mark of Dolby Laboratories

Příloha E

Katalogový list výsuvného stožáru SQT10HP.

CLARK MASTS™

QT Serie

Der handliche Mast mit 101 Einsatzmöglichkeiten

Dieser Teleskopmast ist zu Tausenden auf der ganzen Welt im Einsatz. Sie werden seit 1959 laufend durch Clark Masts gefertigt.

QT Maste sind wegen ihrem Konzept so populär. Die leichte Aluminium-Konstruktion in Kombination mit Druckluft erlaubt eine einfache Handhabung.



Die seitlich angeflanschte Handpumpe versorgt den Mast mit Druckluft für das Ausfahren und gewährleistet, mittels eines Ventils, das Einfahren. Jede Mastsektion kann mit einer Klemmschraube gesichert werden, sodass der Mast für eine längere Zeitspanne ausgefahren bleibt. Bei aufkommendem Wind kann der Mast am Abspannkragen abgespannt werden.



Leise, ruckfreie und einfache Bedienung

Die Merkmale, die den Mast zu einem beliebten und nützlichen Ausrüstungsgegenstand gemacht haben sind:

1. Legierte Aluminium-Sektionen
2. Handpumpe
3. Befestigungsschrauben M8
4. Wasserablass-Stop
5. Luftablass-Ventil
6. Klemmschrauben der Mastsektionen
7. Abspannkragen - Mastspitze
8. Schnellbefestigung für Kopflast

PIONIER IN SCHNELL EINSETZBAREN MASTSYSTEMEN

Wählen Sie für Ihren Zweck den richtigen QT Mast aus

MAST MODELL	Kat. Nr.	Aus- gestreckte Höhe	Ein- geklappte Höhe	Max. empfohlene Kopflast	Ø Untere Mast- Sektion	Anzahl der Sektionen	Mast- gewicht	An- strichung
QT4HP	6265	4,25 m	1,10 m	4,5 kg	2 1/8" 55,5 mm	6	6,5 kg	gelb
CQT4HP	25629	4,25 m	1,10 m	4,5 kg	2 1/8" 55,5 mm	6	6,5 kg	anodisiert
SQT4HP	9504	4,00 m	1,00 m	6,0 kg	2 1/8" 55,5 mm	7	7,5 kg	gelb
CSQT4HP	25631	4,00 m	1,00 m	6,0 kg	2 1/8" 55,5 mm	7	7,5 kg	anodisiert
QT6HP	8286	6,10 m	1,30 m	4,5 kg	2 1/8" 55,5 mm	6	8,2 kg	gelb
CQT6HP	25663	6,10 m	1,30 m	4,5 kg	2 1/8" 55,5 mm	6	8,2 kg	anodisiert
SQT6HP	9459	6,10 m	1,30 m	10,0 kg	2 1/8" 55,5 mm	4	7,3 kg	gelb
CSQT6HP	10965	6,00 m	1,30 m	20,0 kg	2 1/8" 55,5 mm	4	7,3 kg	anodisiert
SQT8HP	38000	7,95 m	1,80 m	10,0 kg	2 1/8" 55,5 mm	6	11,5 kg	gelb
CSQT8HP	33501	7,95 m	1,80 m	10,0 kg	2 1/8" 55,5 mm	6	11,5 kg	anodisiert
QT9HP	6267	9,00 m	1,95 m	4,5 kg	2 1/8" 55,5 mm	6	10,5 kg	gelb
CQT9HP	25625	9,00 m	1,95 m	4,5 kg	2 1/8" 55,5 mm	6	10,5 kg	anodisiert

SQT9HP	9461	8,80 m	1,95 m	10,0 kg	2 1/8" 55,5 mm	6	12,2 kg	gelb
CSQT9HP	25158	9,00 m	2,25 m	18,0 kg	2 1/8" 55,5 mm	5	12,2 kg	anodisiert
QT10HP	25067	10,00 m	2,10 m	4,5 kg	2 1/8" 55,5 mm	6	11,0 kg	gelb
CQT10HP	25588	10,00 m	2,10 m	4,5 kg	2 1/8" 55,5 mm	6	11,0 kg	anodisiert
SQT10HP	25825	10,15 m	2,20 m	10,0 kg	2 1/8" 55,5 mm	6	13,0 kg	gelb
CSQT10HP	17923	10,15 m	2,20 m	10,0 kg	2 1/8" 55,5 mm	6	13,0 kg	anodisiert
QT12HP	8388	11,55 m	2,00 m	2,5 kg	2 1/8" 55,5 mm	8	13,2 kg	gelb
CQT12HP	25941	11,55 m	2,00 m	2,5 kg	2 1/8" 55,5 mm	8	13,2 kg	anodisiert
SQT12HP	25943	12,20 m	2,70 m	10,0 kg	2 1/8" 55,5 mm	6	10,0 kg	gelb
CSQT12HP	25944	12,20 m	2,70 m	10,0 kg	2 1/8" 55,5 mm	6	10,0 kg	anodisiert
QT15HP	9475	15,00 m	2,50 m	2,5 kg	2 1/8" 55,5 mm	7	18,0 kg	gelb
CQT15HP	25947	15,00 m	2,50 m	2,5 kg	2 1/8" 55,5 mm	7	18,0 kg	anodisiert
SQT15HP	25919	15,00 m	2,50 m	10,0 kg	3 1/8" 68,9 mm	7	21,0 kg	gelb
CSQT15HP	25949	15,00 m	2,50 m	10,0 kg	3 1/8" 68,9 mm	7	21,0 kg	anodisiert

Befestigungszubehörteile für QT Masten

FELDAUFBAU



Dreibeinstativ MK IV Kat. Nr. 9427

Dieses Dreibeinstativ kann seitlich zusammengeklappt werden. Kein Werkzeug nötig, um das Dreibeinstativ für den Transport zu demontieren. Geeignet für QT Masten mit einer Höhe bis 15 m.



Dreibeinstativ MK V
Kat. Nr. 25164

Dieses Dreibeinstativ ist geeignet für QT Masten mit einer Höhe bis 6 m. Vergleichbar mit dem MK IV Dreibeinstativ aber mit kürzeren Auslegem.

FAHRZEUGEINBAU ODER BEFESTIGUNG AN CONTAINERN

Sattelschellen

Diese Schellen werden meistens per Paar verkauft, um den Mast an einer vertikalen Fläche zu montieren. Der Mast kann leicht abgenommen werden.



Kat. Nr. 25960
(2 1/2" Sattelschelle)
Kat. Nr. 2433
(3" Sattelschelle)
Kat. Nr. 25961
(3 1/2" Sattelschelle)



Kat. Nr. 1984
(2 1/2" Wandschelle)
Kat. Nr. 9920
(3" Wandschelle)
Kat. Nr. 25962
(3 1/2" Wandschelle)

Eine grosse Auswahl von Zubehörteilen sind erhältlich für den freien Feldaufbau, Fahrzeugeinbau oder für die Befestigung an Containern. Ein technisches Datenblatt ist auf Anfrage erhältlich.

www.telescopingmast.de ist ein Service der Vettters & Freywald KG
Vettters & Freywald KG : Sudetenstrasse 18 : 75443 Ötisheim Germany
Phone : +49 (0) 7041-818706 : fax : +49 (0) 7041-819704
support@telescopingmast.de : www.telescopingmast.de

PIONIER IN SCHNELL EINSETZBAREN MASTSYSTEMEN

Příloha F

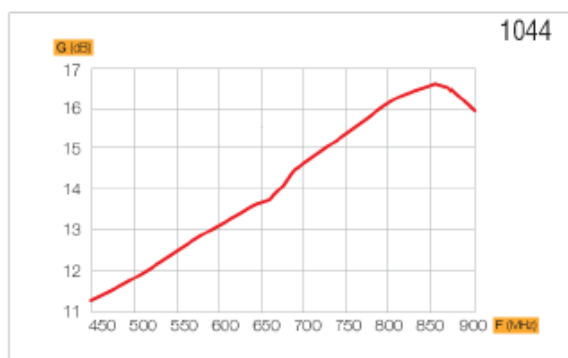
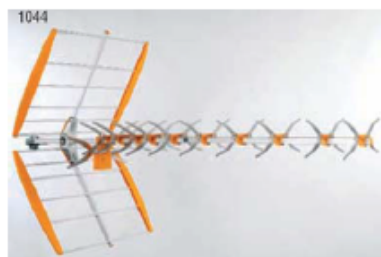
Katalogový list přijímací antény Televes 1044.

TELEVES

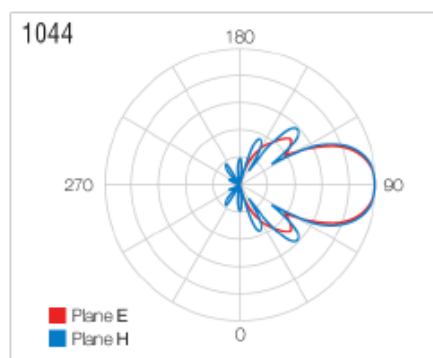
1044, 8044 anténa X range

Technické údaje antény:

43 elementů optimalizovaných pro příjem digitálních signálů
Plně stíněná připojovací krabice
Připojovací konektor F (je součástí dodávky)
Frekvenční rozsah 470-862MHz
Kanálový rozsah 21-69 kanál
Zesílení typ. 16,5dB / 860MHz
Předozadní poměr typ. 26dB
Délka 1290mm
Větrná zátěž při 800N/m² (130km/h) = 106,5N
1100N/m² / 150km/h) = 146,5N



Průběh zesílení

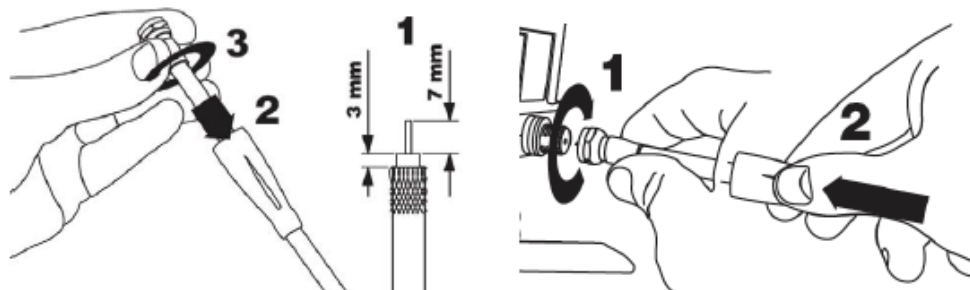


Vyzařovací diagram

Montáž antény:

- zasunout obě zadní síta
- namontovat třmen
- otočte jednotlivé elementy antény okolo své osy na ráhne až zapadnou do správné polohy

Zapojení konektoru:



Oholit kabel, našroubovat konektor

Našroubujte konektor do protikusu v anténě

Příloha G

Katalogový list přijímací antény TP 20.

TP20

Technické údaje antény:

Provedení - hliníkové prvky a profily, kovové spojovací prvky a třmen pozink, do průměru trubky 50 mm.

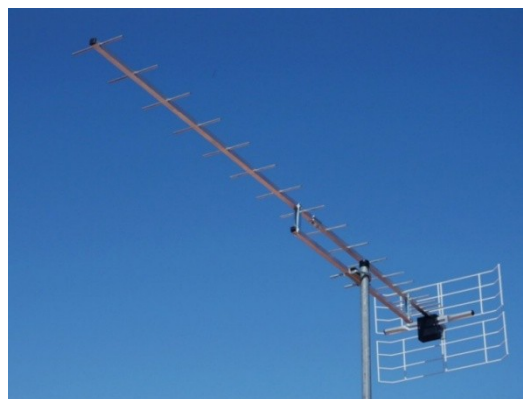
Anténa speciální konstrukce s nejlepší směrovou charakteristikou pro příjem signálů pásma UHF.

Frekvenční rozsah 470 - 790 MHz.

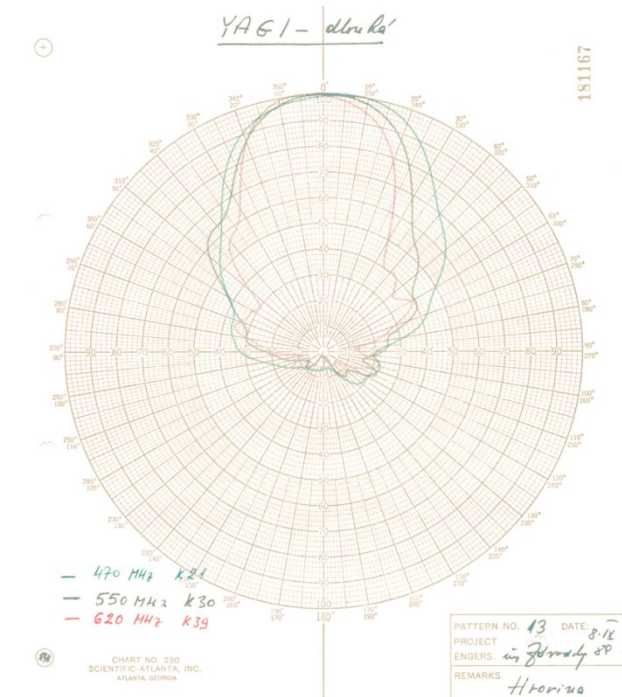
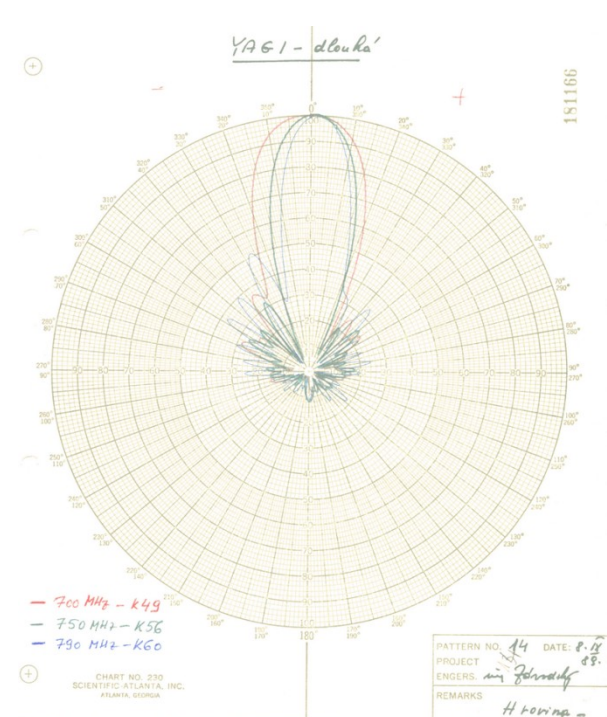
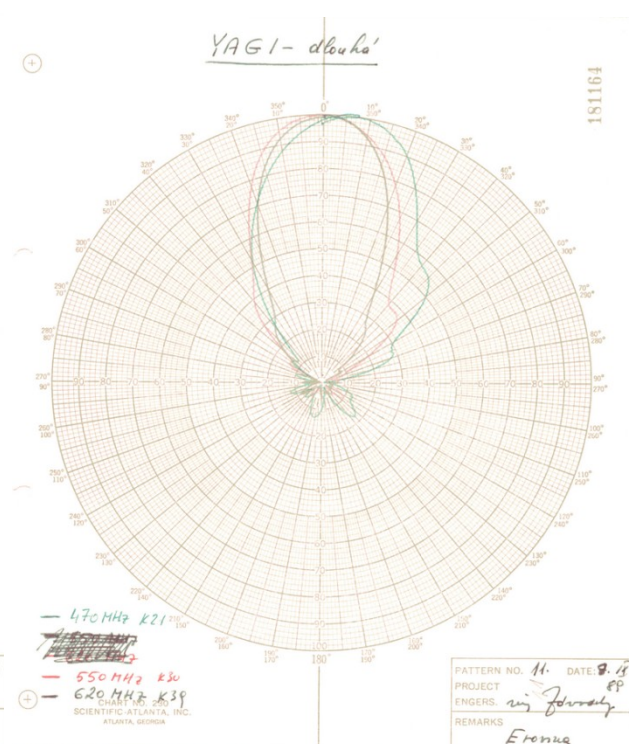
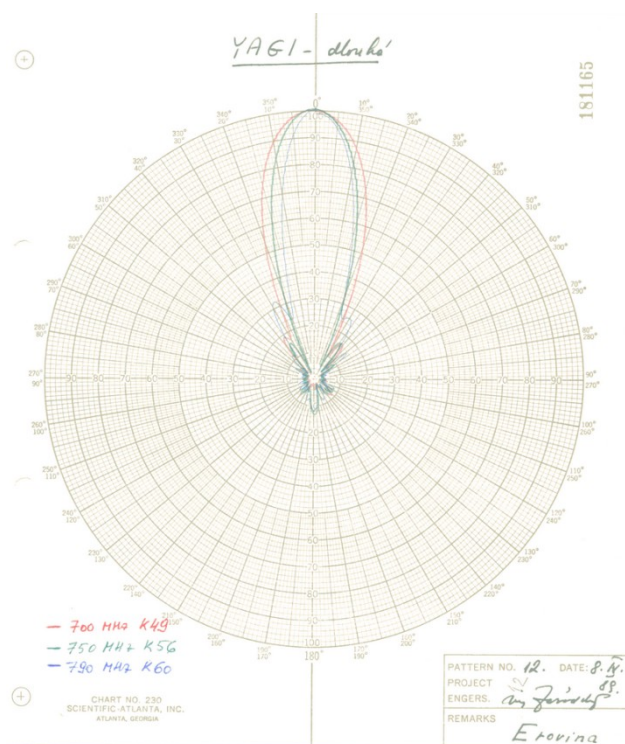
Kanálový rozsah 21. - 60. kanál.

Zesílení typ. 13,5dB / 750 MHz.

Délka 2015 mm.



EL. PARAMETRY	MĚŘENO TESLA PARDUBICE 21.9.1989					
f (MHz)	470	550	620	700	750	790
ZISK G (dB)	7	8	9,4	11,1	13,5	12,6
ČZP (dB)	-15,4	-20	-22	-21	-18	-17
LALOKY (dB)	-5,2	-8,4	-12	-14,5	-16	-10
VÚ -3dB / E	50°	47°	40°	31,5°	26°	21,5°
VÚ -3dB / H	73°	59°	50°	36°	28°	22°
ČSV	< 2					
VÝSTUPNÍ IMPEDANCE	300 / 75 OHMŮ					
ODPOR PROTI VĚTRU W	111 N					



Vyzařovací diagramy antény TP 20